

SATW Technology Outlook

Deutsche Version



SATW

Schweizerische Akademie der Technischen Wissenschaften
Académie suisse des sciences techniques
Accademia svizzera delle scienze tecniche
Swiss Academy of Engineering Sciences

Inhaltsverzeichnis

4	Executive Summary
6	Einleitung
8	Einführende Überlegungen
10	Zusammenfassung der wichtigsten internationalen Trends
13	Relevanz für die Schweizer Industrie
14	Relevanz für die Gesellschaft
16	Herausforderungen für ausgewählte Schweizer Industriebranchen
18	Pharmazeutische Industrie und Chemie
21	Maschinenbau und Elektronik, Metallverarbeitung und Maschinenteile, Präzisionsinstrumente
26	Uhren und Schmuck
29	Medizintechnik
32	Bereiche, in denen technologische Durchbrüche erwartet werden
34	Energie und Verkehr
40	Produktionstechnik und Fertigungsverfahren
46	Gesundheit
52	Informations- und Kommunikationstechnologien (IKT)
58	Empfehlungen

Vorwort

Industrielle Tätigkeit hat ihre Vorlaufzeiten: Neue Technik muss verstanden und evaluiert werden; Pläne müssen gemacht, geprüft, diskutiert und verabschiedet werden; Geräte, Maschinen und Gebäude müssen hergestellt oder beschafft werden. Von der Idee bis zum Markteintritt eines neuen Produktes oder eines neuen Herstellungsverfahrens dauert es meistens Jahre.

Eine möglichst frühe, möglichst zuverlässige «Vorwarnung» ist darum von grosser Bedeutung. In den meisten Industrie- und Schwellenländern werden zu diesem Zweck Technology Outlooks erarbeitet, Kompendien der sich am Horizont abzeichnenden Technologien, aus denen dann durch kluge Wertung Handlungsempfehlungen an die industrielle Forschung und Entwicklung und an die mit ihr verschwägerten Hochschulen entstehen. Die dabei verwendeten Methoden und Ansätze sind dabei sehr ähnlich.

Wenn das «Alle» machen, wieso können wir dann nicht einfach die Resultate aus den anderen (mit uns konkurrenzierenden) Ländern kopieren und uns viel Mühe und Arbeit sparen? Weil die Resultate für jedes Land anders sind – einmal weil die Ausgangslagen verschieden sind, dann auch weil die lokalen Gegebenheiten und Möglichkeiten unterschiedlich sind. Für einen Ingenieur ganz einfach: Weil es sich bei der Vorhersage um ein Anfangswertproblem handelt, bei dem für verschiedene Länder neben den verschiedenen Ausgangswerten auch verschiedene Koeffizienten in den Problemgleichungen vorkommen. Und die Resultate darum sehr verschieden sein können.

Jedes Land braucht darum seinen eigenen Technology Outlook. Die SATW hat Mitte 2013 mit der erstmaligen Erstellung eines Technology Outlooks für die produzierende Schweizer Wirtschaft begonnen und stellt Ihnen hier die Resultate vor. Wir hoffen damit einen Beitrag zur Weiterentwicklung der Schweizer Industrie liefern zu können.

Wissenschaft und Technik verändern sich fortwährend. Daraus folgt auch, dass ein Technology Outlook nicht eine einmalige Aufgabe ist, deren Lösung dann für lange Zeiten gültig sein wird, sondern dass in regelmässigen Abständen immer wieder eine Überprüfung und Anpassung des Technology Outlooks stattfinden muss. Die SATW wird diese Aufgabe gern übernehmen.



Ulrich W. Suter, Präsident SATW

Executive Summary

Die Schweiz verfügt heute über einen bedeutenden industriellen Sektor, der fast 20 Prozent zum Bruttoinlandsprodukt des Landes beisteuert. Über einen Zeithorizont von fünf bis zehn Jahren betrachtet zeichnen sich jedoch bereits neue Technologien und Verfahren sowie Veränderungen im Marktumfeld ab, die als fundamentale Herausforderungen für die wichtigsten Industriesparten in der Schweiz erachtet werden. Folgende Herausforderungen sind identifiziert worden:

- Die Unternehmen der chemischen und pharmazeutischen Industrie müssen sich in einem im Umbruch befindlichen Geschäftsumfeld behaupten. Ausschlaggebend für den wirtschaftlichen Erfolg ist und bleibt die Innovationsfähigkeit. Zentrale Themen sind Synthetische Biologie und Biotechnologie, zielgenauer Wirkstoffeinsatz, energiespeichernde Chemikalien, aktive Packstoffe und fortschrittliche Werkstoffe.
- Im Bereich der Maschinenindustrie sind additive Fertigungsverfahren und die zugehörige Materialentwicklung zu beherrschen. Mit «Industrie 4.0» wird zudem eine vollständige Digitalisierung der Produktionskette und die Vernetzung aller Geräte angekündigt. Differenzierung durch Automatisierung, Flexibilität und Qualität gelten als zentrale Bausteine für die Erhaltung der industriellen Wettbewerbsfähigkeit in Hochlohnländern.
- In der Präzisionsindustrie ist die Entwicklung von ultraharten, intelligenten oder leichten Materialien mit hervorragenden mechanischen und physikalischen Eigenschaften ein wichtiger Trend. Feinoptische Bearbeitungs- und Messmethoden, kontaktlose biochemische Bestimmung von Probenmengen und die Vermessung von Oberflächen sind wesentliche Entwicklungsrichtungen, die es zu beherrschen gilt.
- Für die Medizintechnik-Industrie von Bedeutung ist, dass das Gesundheitswesen gegenwärtig auf der ganzen Welt einen fundamentalen Wandel durchläuft, vom bisherigen primär kurativen Vorgehen hin zum vorausschauenden und vorbeugenden Ansatz der sogenannten 4P-Medizin (personalisiert, prädiktiv, präventiv, partizipativ). Der vermehrte Einsatz moderner Informationstechnologien wird zum Haupttreiber für disruptive Technologien im Gesundheitsbereich.

Allgemein zeigt sich, dass Informations- und Kommunikationstechnologien in allen Sparten wesentliche Wegbereiter für neue Geschäftsmöglichkeiten, Produkte und Dienstleistungen sind. Eine nahtlose Integration und Interaktion zwischen Personen, Gegenständen, Diensten und Systemen im täglichen Leben und in industriellen Prozessen ist im Gange. Dies gilt auch für die Bereiche Energie und Verkehr, die eng miteinander verknüpft sind. Weltweite Megatrends wie Verstädterung, intelligentes Energiemanagement und Förderung nachhaltiger Energieressourcen führen zu einer verstärkten Nachfrage an Soft- und Hardware im Bereich der Überwachung von kritischen Infrastrukturen. Neben grossem Nutzen werden neue Gefahren und Anfälligkeiten (zum Beispiel für Cyber-Angriffe) ins System eingeschleust und müssen bewältigt werden.

Aus dieser Analyse leitet die SATW folgende Empfehlungen ab:

- Forschung und Innovation in den Bereichen energieeffizienter Technologien und autonomer intelligenter Systeme müssen auf nationaler Ebene priorisiert werden. Im Energie- und Verkehrsbereich sollten vermehrt koordinierende Einheiten wirken und geeignete regulatorische Massnahmen und Standards geschaffen werden, um mit den steigenden Cyber-Risiken angemessen umgehen zu können.
- Die Entwicklung im Bereich der Informations- und Kommunikationstechnologien macht neue Regelungen und eine verstärkte Förderung der Forschung notwendig, um die Eigentumsrechte an den Daten, den Datenschutz, die Datensicherheit sowie Schutz vor Manipulationen zu gewährleisten und neue Geschäftsfelder zu öffnen.
- Schweizer Forschungseinrichtungen und Industrie müssen gemeinsam die Material- und Prozessentwicklung für neue Herstellungsverfahren vorantreiben. Dazu ist eine nationale Manufacturing-Initiative notwendig.
- Die Zusammenarbeit zwischen akademischer Forschung und Industrie im forschungsnahen, aber dennoch praxisorientierten, strategischen Vorfeld der Technologie- und Produktentwicklung ist durch finanzielle Anreize (zum Beispiel neuer Förderbereich) zu stärken. Hierbei sollte über eine finanzielle Entlastung der kleinen und mittleren Unternehmen diskutiert werden.

Glossar

AM	Additive Manufacturing, Deutsch: additive Fertigungsverfahren
BFS	Bundesamt für Statistik
BIM	Building Information Modelling
BIP	Bruttoinlandprodukt
CPS	Cyber-physische Systeme
DSM	Demand-Side Management
EKG	Elektrokardiogramm
EEG	Elektroenzephalografie
F&E	Forschungs- und Entwicklungsaktivitäten
IKT	Informations- und Kommunikationstechnologien
IoT	Internet of Things
IT	Informationstechnologien
KET	Key Enabling Technology
KMU	Kleine und mittlere Unternehmen
KTI	Kommission für Technologie und Innovation
MedTech	Medizintechnik
PI	Präzisionsinstrumente
SNF	Schweizerischer Nationalfonds
TRL	Technology Readiness Level, Deutsch Technologiereifegrad

Einleitung

Spätestens seit den 1980er-Jahren geht im Industriesektor ein dauernder, schmerzhafter Anpassungsprozess vor sich. 2014 waren dort laut Bundesamt für Statistik (BFS) 230 000 Personen (oder 20 Prozent) weniger beschäftigt als noch 1975. Namentlich in der Maschinen-, Elektro- und Metallindustrie sind viele Stellen verloren gegangen oder ins Ausland verlagert worden, auch wenn in jüngster Zeit im Inland wieder mehr Stellen geschaffen als abgebaut werden und die Produktivität der Industrie deutlich zugenommen hat. Zwar erzielt die Schweiz im Global-Innovation-Index einen Spitzenplatz, aber im Bereich «Innovations-Effizienz» fällt sie zurück und in der Kategorie «Geschäftsumgebung» schneidet sie nur mässig ab. Zudem drückt der starke Franken auf die möglichen Gewinne der Unternehmen und lässt vor allem den kleinen und mittleren Unternehmen (KMU) nur wenig, wenn überhaupt Spielraum für Investitionen in Forschung und Entwicklung.

Wirtschaftsmächte wie die USA, Grossbritannien oder Deutschland investieren inzwischen bedeutende Ressourcen in die (Re-)Industrialisierung ihrer Nationen. In den USA hat Präsident Barack Obama 2011 eine «Advanced Manufacturing Partnership» ins Leben gerufen. In Grossbritannien ist das CATAPULT-Programm «High Value Manufacturing» gestartet worden, und Deutschland befasst sich intensiv mit «Industrie 4.0».

Und was tut die erfolgsverwöhnte Schweiz in diesem Schlüsselsektor der Industrie? Die Schweiz vertraut bislang auf ihre liberale Gesetzgebung, den Weitblick ihrer Hochschulen und den Fleiss und die Flexibilität ihrer Arbeitskräfte.

Welche Entwicklungen zeichnen sich ab?

Über einen Zeithorizont von fünf bis zehn Jahren betrachtet sind gerade im industriellen Bereich Vorboten für neue Verfahren und Technologien erkennbar, die die heutige Welt massiv verändern könnten. Typischerweise investieren Firmen erst dann in neue Verfahren, wenn deren kommerzielle Bedeutung erwiesen ist. Bisweilen lässt sich ein verpasster technischer Vorsprung aber nicht mehr aufholen. Während internationale Grosskonzerne zwangsläufig mit solchen Entwicklungen konfrontiert werden und meist auch über genügend Mittel verfügen, um selber darauf zu reagieren, stellt sich vor allem bei den KMU die Frage des rechtzeitigen Zugangs zum nötigen Know-how.

Ziel des vorliegenden Reports ist es, Schweizer Entscheidungstragende in Politik und Wirtschaft auf die sich abzeichnenden Entwicklungen und ihr enormes Veränderungspotenzial hinzuweisen. Der Report konzentriert sich dabei bewusst auf die wichtigsten Sparten der Exportindustrie, die einem hochkompetitiven, internationalen Umfeld ausgesetzt sind.

In erster Linie geht es im vorliegenden Bericht also darum, die technologischen Herausforderungen für die Schweiz herauszuarbeiten, das heisst, sich auf die Themen zu konzentrieren, die für die anhaltende Entwicklung der Schweizer Industrie, Forschung und Gesellschaft eine besondere Bedeutung haben. Der Report identifiziert wichtige neue Technologien, die in Schlüsselbranchen der Schweizer Industrie im Kommen sind, und zeigt, welche Randbedingungen es braucht, damit sie erfolgreich implementiert und verwertet werden können. Weitere Faktoren wie Führungskultur oder der Zugang zu Risikokapital, die die Innovationskraft der Industrie ebenfalls wesentlich beeinflussen, werden an dieser Stelle nicht behandelt. Dafür zieht sich die ganz grundlegende Bedeutung der Ausbildung wie ein roter Faden durch den Bericht: Denn es liegt auf der Hand, dass die auf den folgenden Seiten antizipierten Innovationen, Entwicklungen und multidisziplinären Herausforderungen einen gewaltigen Bedarf an hochqualifizierten Fachkräften und Ingenieuren voraussetzen, während gleichzeitig immer weniger Arbeitsplätze für Menschen mit geringerer oder technikfernerer Qualifikation zur Verfügung stehen dürften. Bereits heute herrscht in der Schweiz in den Bereichen Informatik, Technik und Bauwesen ein deutlicher Mangel an adäquat ausgebildeten Fachkräften. Die erfolgreiche Förderung der erforderlichen Fähigkeiten und Talente ist also von kritischer Bedeutung. Insbesondere müssen in den nächsten Jahren weit grössere Anstrengungen als bisher dafür unternommen werden, mehr junge Frauen für technische Berufe zu begeistern.

Welche gesellschaftlichen Herausforderungen stehen an?

Das Kapitel «Einführende Überlegungen» enthält als Startpunkt eine Zusammenfassung der Erkenntnisse vergleichbarer Berichte aus der ganzen Welt. Diese werden mit den von der EU definierten wichtigsten kommenden gesellschaftlichen Herausforderungen (Horizon 2020) abgeglichen und den bedeutendsten Sparten der Schweizer Exportindustrie gegenübergestellt.

Im Kapitel «Herausforderungen für ausgewählte Schweizer Industriebranchen» werden die spezifischen Bedürfnisse dieser Branchen erläutert, ihre Stärken und Schwächen bewertet, und es wird aufgezeigt, welche bahnbrechenden technologischen Entwicklungen in diesen Bereichen zu erwarten sind und wo es infolgedessen stärkerer Anstrengungen bedarf. Dabei zeigt sich, dass gewisse Schlüsseltechnologien allen Branchen gemeinsam sind.

Der zukünftige Erfolg der Schweizer Forschung und Industrie hängt massgeblich von der Beherrschung dieser Schlüsseltechnologien ab. Im Kapitel «Bereiche, in denen technologische Durchbrüche erwartet werden» werden sie deshalb einzeln in dem Umfeld besprochen, in dem sie wesentlichen Innovationen zum Durchbruch verhelfen dürften; die Massnahmen, die sich daraus ableiten lassen, werden im Detail aufgelistet. Vor diesem Hintergrund formuliert das Schlusskapitel zusammenfassend klare Empfehlungen zuhanden der Entscheidungstragenden.



Einführende Überlegungen





Zusammenfassung der wichtigsten internationalen Trends

Verschiedene namhafte Organisationen versuchen weltweit, sich ein Bild von der Relevanz der technologischen Entwicklung zu verschaffen. Als Grundlage für diesen Bericht sind in einem ersten Schritt Informationen aus verschiedenen internationalen Berichten, Publikationen und Datenbanken ausgewertet worden. Die wichtigsten Quellen waren:

Forbes¹, IEEE², McKinsey³, das 8. EU-Forschungsrahmenprogramm (Horizon 2020) mit Fokus auf gesellschaftliche Herausforderungen und «**Key Enabling Technologies**» (KETs)⁴, Roadmaps des Fraunhofer Instituts und anderer vergleichbarer Institutionen und Netzwerke⁵ sowie der kürzlich erschienene Bericht des Weissen Hauses zu Big Data und dem **Internet of Things** (IoT).

Key Enabling Technology

Schlüsseltechnologien sind Erfindungen oder Neuigkeiten, welche neue Technologiebereiche erschliessen und bei Anwendern oder sogar ganzen Kulturen eine radikale Veränderung der Fähigkeiten und Leistungen herbeiführen. Moderne Beispiele sind die Erfindung des elektrischen Motors, die Anästhesie, Flugzeuge, Computer und das Internet.

Quelle: http://en.wikipedia.org/wiki/Enabling_technology

Internet of Things, Deutsch: Internet der Dinge

Beschreibt die kommunikationstechnische Vernetzung eindeutig identifizierbarer physischer Objekte, die miteinander kommunizieren und interagieren. Die Objekte enthalten eingebettete Technologie für Kommunikation, Sensorik und Aktuatorik. Mit zunehmender Anzahl der durch das Internet verbundenen Objekte steigen die Möglichkeiten, Information zu senden, zu empfangen, zu sammeln, zu analysieren und auf Ereignisse zu reagieren.

Cyber-physische Systeme

Sind gekennzeichnet durch eine Verknüpfung von realen (physischen) Objekten und Prozessen mit informationsverarbeitenden (virtuellen) Objekten und Prozessen über offene, teilweise globale und jederzeit miteinander verbundene Informationsnetze.

Quelle: Integrierte Forschungsagenda Cyber-Physical Systems. München: Acatech; 2012.

<http://www.acatech.de/?id=1405>

Big Data / Big Data Analytics

Durch die zunehmende Digitalisierung werden grosse und komplexe Mengen von strukturierten und unstrukturierten Daten erzeugt und gespeichert. Als Big Data wird die Technologie bezeichnet, die zum Sammeln und Auswerten dieser Datenmengen verwendet wird. Analytische Methoden und Algorithmen sind notwendig, um aus der wachsenden Menge an gesammelten Daten Schlussfolgerungen zu ziehen, die Entscheidungsprozesse unterstützen.

Aus diesem Material lassen sich auf internationaler Ebene folgende sechs Hauptthemen identifizieren:

1. Informations- und Kommunikationstechnologien (IKT) als übergreifende Querschnittstechnologie:

Eine Schlüsselrolle werden hier insbesondere das IoT, **cyber-physische Systeme** (CPS) und damit zusammenhängende Technologien (zum Beispiel Drahtlos- und Sensortechnologien) spielen. In Verbindung damit werden **Big Data** und Datenanalysen für die Wirtschaft der Zukunft wesentlich. Querschnittfunktionen ergeben sich insbesondere mit IKT-Anwendungen und -dienstleistungen in den Bereichen Gesundheit, Wohlbefinden und Lebensqualität sowie in Bezug auf das effizientere Management von Energieressourcen und industriellen Prozessen. Im Zusammenhang mit Internet- und Drahtlostechnologien wächst auch die Bedeutung der Cybersicherheit, und zwar nicht allein in Bezug auf sicherheitspolitische Aspekte, sondern auch hinsichtlich des Schutzes von Bürgerrechten und Privatsphäre.

2. **Smart Grids, neue, nachhaltige Energiequellen und -speicherung** sind Themenbereiche, denen in der politischen Agenda und in Bezug auf die zukünftige Ausrichtung der Forschungs- und Entwicklungstätigkeit höchste Priorität eingeräumt wird.

3. **Ein nachhaltiges Gesundheitswesen für eine alternde und einem ausgeprägten demografischen Wandel ausgesetzte Gesellschaft:** E-Health, personalisierte Medizin und Genomik können die Grundlage für eine revolutionäre Umgestaltung der Gesundheitspolitik bilden. Besonders wichtig erscheinen in diesem Zusammenhang die Biowissenschaften, ein Bereich, in dem die Schweiz bereits mit Erfolg engagiert ist. In der Medizin können autonome Systeme einen Paradigmenwechsel in Richtung eines präventionsbasierten Gesundheitswesens unterstützen.

Smart Grids

Elektrische (Strom-)Netzwerke, die auf intelligente Weise die Handlungen aller Akteure auf dem Strommarkt – Erzeuger, Verbraucher, erzeugende Verbraucher und Speicher – integrieren und somit eine Optimierung und Überwachung der miteinander verbundenen Netzteile ermöglichen. Ziel ist es, ein nachhaltiges, ökonomisch vertretbares und sicheres Elektrizitätsangebot zu schaffen.

Quelle: http://www.smartgrids.eu/documents/SmartGrids_SDD_FINAL_APRIL2010.pdf

3D-Druck

Ein Verfahren des Additive Manufacturing, das, ähnlich wie ein Tintenstrahldrucker, Klebstoff in ein Pulverbett druckt und auf diese Weise dreidimensionale Bauteile schichtweise aufbaut. Anwendungen sind die Herstellung von mehrfarbigen Anschauungsobjekten und komplexe Sandgussformen. Der Begriff wird in den Medien häufig als Synonym für Additive Manufacturing verwendet.

4. Ein zukunftsgerichtetes Verkehrswesen für intelligente Städte: Ein intelligentes Verkehrs- und Transportwesen ist wesentlich für die zukünftige Mobilität; eine nachhaltige Energie- und Klimapolitik ist insbesondere in Europa ein heisses Thema, mit dem sich viele führende Industrieunternehmen befassen. Von besonderem Interesse ist die Entwicklung von vollelektrischen Fahrzeugen.

5. Menschzentrierte Technologien mit hoher gesellschaftlicher Komponente (einschliesslich Erziehung und Wissensvermittlung): Menschzentrierte Dienstleistungen, in Echtzeit personalisiert und mit Echtzeit-Auswirkungen auf Wirtschaft und Lebensqualität, können dramatische Veränderungen im Bereich der sozialen Netzwerke, des Online-Verhaltens und der Arbeitswelt bewirken, stellen gleichzeitig aber in Bezug auf die Nutzersicherheit und die Akzeptanz seitens der Bevölkerung auch eine grosse Herausforderung dar.

6. Neue Materialien und Fertigungstechnologien: Die Entdeckung neuer (Nano-)Materialien hat das Potenzial, die Fertigungsindustrie tiefgreifend zu verändern, insbesondere durch die Ermöglichung eines höheren Grades an kundenspezifischer Anpassung. **3D-Druck** wird zunehmend auch für Endverbraucher kostengünstig verfügbar und erlaubt es, von jedem PC aus funktionstüchtige Prototypen für Teile und Produkte zu entwerfen. Allerdings wird die 3D-Druckrevolution ein neues Abfallproblem verursachen, das es zu bewältigen gilt.

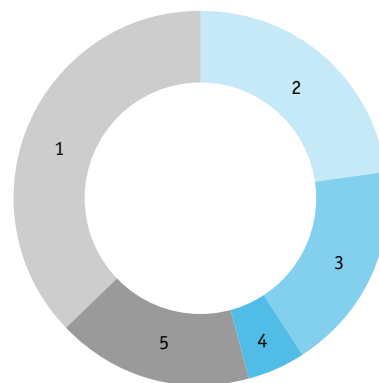


Relevanz für die Schweizer Industrie

Schweizer Produkte sind überall dort hervorragend, wo ungewöhnlich grosse Komplexität zu bewältigen ist. Dies setzt eine enge, stark interdisziplinäre Zusammenarbeit unter vielen Spezialisten unterschiedlichster Gebiete voraus. Gesamthaft hat die Schweiz im Jahr 2012 Waren im Wert von 211 Milliarden Franken ausgeführt. Die Schweizer Exportstatistik (siehe Abbildung 1) zeigt, dass es vier Industriebereiche mit einem jährlichen Exportvolumen von über 10 Milliarden Franken gibt^{6/7}: Pharmazie und Chemie, Maschinen/Elektronik/Präzisionsinstrumente/Metalle, Uhren/Bijouterie/Edelsteine/Edelmetalle, sowie Medizintechnik (MedTech).

Die wichtigsten Exportbranchen sind typische Beispiele für stark interdisziplinäre, spezialisierte und hochinnovative Industriezweige, die sich genau dieser Merkmale wegen gegen die globale Konkurrenz behaupten können. Diese auf wechselseitigen Abhängigkeiten beruhende Stärke der Schweizer Industrie bringt aber auch eine ausgeprägte Gefahr mit sich: Schwächen in einer der Schlüsselbranchen wirken sich sehr direkt und rasch auf die anderen Industriebranchen aus. Es ist deshalb von zentraler Bedeutung für die Schweizer Wirtschaft, dass in keiner der Schlüsselbranchen ein aufkommender Technologietrend verpasst oder wegen ungünstigen Rahmenbedingungen nicht aufgenommen und wertbringend umgesetzt wird. Auf der Basis einer objektiven

Grösse (Zolldaten) orientiert sich der vorliegende Bericht daher an diesen vier Bereichen der Schweizer Exportstatistik. Dies lässt durchaus auch Schlüsse auf die Binnenindustrie zu, da sich die beiden Sektoren nicht wesentlich unterscheiden.



- 1 Pharmazie und Chemie **37%**
- 2 Maschinen/Elektronik/Präzisionsinstrumente/Metalle **23%**
- 3 Uhren/Bijouterie/Edelsteine/Edelmetalle, Medizintechnik **18%**
- 4 MedTech **5%**
- 5 Andere (<10 Mia CHF) **17%**

Abbildung 1: Exportstatistik der Schweiz für das Jahr 2012;
Quelle: <http://www.bfs.admin.ch/bfs/portal/de/index/themen/06/05/blank/data.html>.



Relevanz für die Gesellschaft

Die sorgfältige Analyse der verschiedenen Quellen zeigt, dass auf internationaler Ebene weitgehend Übereinstimmung darüber herrscht, welches die vielversprechendsten Zukunftstechnologien sind. Obwohl die grossen Industrienationen in Europa, Asien und Nordamerika miteinander im Wettbewerb um Marktführerschaft und Marktanteile stehen, stimmen ihre Interessen in Bezug auf gewisse globale Technologien grösstenteils überein. Eine besondere Rolle spielen dabei die gesellschaftlichen Auswirkungen einer Technologie und ihre Fähigkeit, in wesentlichen Bereichen, zum Beispiel im Gesundheitswesen oder im Energiebereich, nachhaltige Lösungen zu ermöglichen. Sowohl Europa als auch die Schweiz sind hochentwickelte Industriegesellschaften, in denen Lebensqualität für die alternde Gesellschaft und energiewirtschaftliche Unabhängigkeit von strategischer Bedeutung sind.

Gleichzeitig ist gerade in diesen erfolgsverwöhnten Gesellschaften eine wachsende Technologieskepsis auszumachen, die den Fortschritt hemmen oder gewisse Bevölkerungsschichten davon ausschliessen könnte. Es ist ein grosses Anliegen dieses Berichtes dazu beizutragen, mithilfe der entsprechenden Rahmenbedingungen den grösstmöglichen wirtschaftlichen und gesellschaftlichen Nutzen aus vielversprechenden Zukunftstechnologien ziehen zu können. Genauso wichtig ist es, die ein-

zelnen Menschen und die Gesellschaft als Ganzes von den negativen Auswirkungen neuer Technologien zu schützen. In dieser Hinsicht kommt insbesondere der Technologiefolgen-Abschätzung, welche auch die sozialen, rechtlichen und ethischen Aspekte der Anwendung neuer Technologien untersucht, eine wichtige Rolle zu. In der Schweiz nimmt TA-SWISS⁸, Kompetenzzentrum der Akademien der Wissenschaften Schweiz, diese Aufgabe mittels breitangelegter interdisziplinärer Studien zu den Chancen und Risiken neuer Technologien wahr, oft in Zusammenarbeit mit Expertinnen und Experten der SATW.

Ein zweites Bewertungskriterium für die in diesem Report aufgeführten technologischen Trends ist deshalb ihre Relevanz für die Gesellschaft. Die europäische Kommission hat im Rahmen von Horizon 2020 sieben spezifische gesellschaftliche Herausforderungen identifiziert, die ein wertvoller Indikator für künftige Kundenbedürfnisse und Absatzmärkte sind: demografischer Wandel, Gesundheitswesen und Lebensqualität; intelligente, integrierte und nachhaltige Mobilität; sichere, saubere und effiziente Energieversorgung; Sicherheit in der Lebensmittelversorgung, tragbare Landwirtschaft und Bioökonomie; Klima und effiziente Nutzung der Ressourcen und Rohstoffe; geschützte Gesellschaft; und integrative, innovative und reflektierende Gesellschaft. Zur Lösung dieser Herausforderungen wurden KETs definiert

(Mikro- und Nanoelektronik, Nanotechnologien, Photonik, fortschrittliche Werkstoffe, Biotechnologie, Produktions- und Verfahrenstechniken).

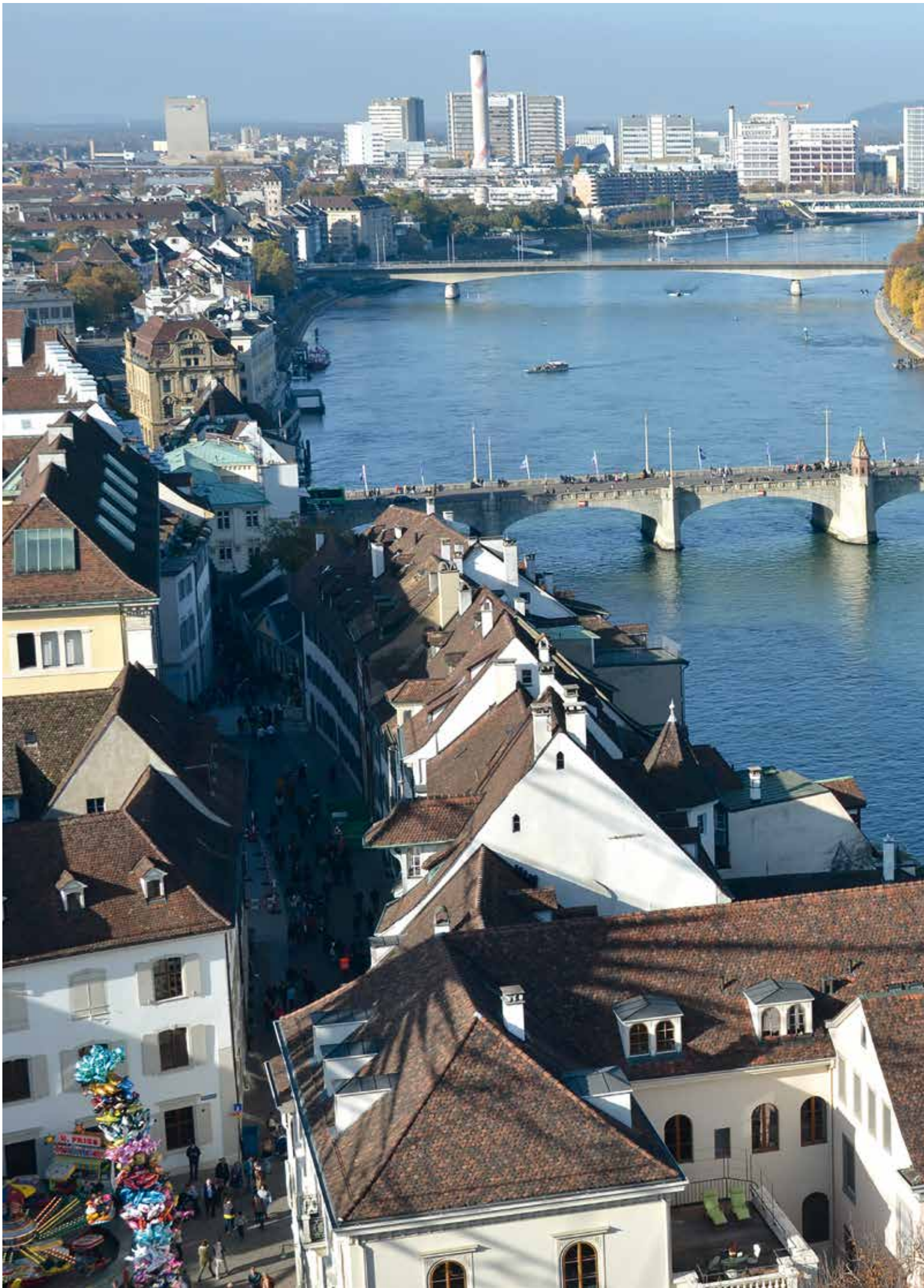
Interessant ist nun die Frage, wie die Schweizer Industrie im Hinblick auf diese künftigen Gesellschaftsprobleme positioniert ist. Die untenstehende Tabelle 1 zeigt

dies in vereinfachter Form. Offensichtlich können die auf Seite 13 hervorgehobenen Exportsegmente in vielen Fällen zur Bewältigung der sieben grossen gesellschaftlichen Herausforderungen beitragen. Dies kann dahingehend interpretiert werden, dass diese Branchen grundsätzlich gut positioniert sind, um künftige Bedürfnisse abdecken zu können.

Exportzahlen für die wichtigsten Schweizer Wirtschaftsbranchen		Chemisch-pharmazeutische Produkte	Metalle und Maschinenteile	Maschinen und Elektronik	Präzisionsinstrumente	Uhren und Schmuck	Medizintechnik
Horizon 2020: gesellschaftliche Herausforderungen		79.0 Mrd. CHF	11.9 Mrd. CHF	22.3 Mrd. CHF	14.1 Mrd. CHF	29.0 Mrd. CHF	11.0 Mrd. CHF
Gesundheit, demografischer Wandel und Wohlergehen	7.2 Mrd. EUR	X				X	X
Intelligenter, umweltfreundlicher und integrierter Verkehr	6.1 Mrd. EUR		X	X			
Sichere, saubere und effiziente Energie	5.7 Mrd. EUR			X			
Ernährungs- und Lebensmittelsicherheit, nachhaltige Land- und Forstwirtschaft, marine, maritime und limnologische Forschung sowie Bioökonomie	3.7 Mrd. EUR	X		X			
Klimaschutz, Umwelt, Ressourceneffizienz und Rohstoffe	2.9 Mrd. EUR		X	X	X		
Sichere Gesellschaften	1.6 Mrd. EUR		X	X			
Integrative, innovative und reflektierende Gesellschaften	1.3 Mrd. EUR				X		X

Tabelle 1: Beitrag der wichtigsten Schweizer Wirtschaftsbranchen in Milliarden Schweizerfranken pro Jahr (Mrd. CHF) (gemäss Exportzahlen 2012) zu den von der EU-Kommission im Rahmen von Horizon 2020 definierten wichtigsten gesellschaftlichen Herausforderungen und das von der EU vorgesehene Budget in Milliarden Euro pro Jahr (Mrd. EUR).

Die folgenden Kapitel gehen genauer darauf ein, in welchen Fällen die Schweizer Industrie angesichts der zu erwartenden Herausforderungen bereits Spitzenplätze belegt und wo zusätzliche Anstrengungen erforderlich sind. Dabei wird auch aufgezeigt, welche Technologien branchenübergreifend von entscheidender Bedeutung sind, und welche Anstrengungen unternommen werden müssen, um diese Technologien zu beherrschen.





Herausforderungen für ausgewählte Schweizer Industriebranchen



Pharmazeutische Industrie und Chemie

Die chemische und die pharmazeutische Industrie tragen wesentlich zur Lebensqualität und zum Wohlstand moderner Gesellschaften bei. Ihre Produkte, Forschungs- und Entwicklungsaktivitäten erfüllen die Anforderungen im Gesundheitsbereich (Gesundheitsversorgung, Medikamente, Diagnostik und Sport) sowie in den Bereichen Ernährung (Düngemittel, Ernteschutz, Lebensmittelzusätze, Verpackung), Infrastruktur (Bauchemikalien, Isolierungsmaterialien, Abdichtungs-, Dämpf- und Klebstoffe) und Kleidung (Färbemittel und Fasern). Die meisten Alltagsprodukte enthalten einen hohen Anteil an Substanzen aus der chemischen Industrie.

Herausforderungen weltweit und in der Schweiz

Die Unternehmen der chemischen und pharmazeutischen Industrie müssen sich in einem im Umbruch befindlichen Geschäftsumfeld behaupten. Weltweit stehen Produktionsstandorte in wachsender Konkurrenz zueinander. Fortschritte bei Rationalisierung und Kostenreduktion genügen zum Überleben nicht mehr; ausschlaggebend für den wirtschaftlichen Erfolg ist und bleibt die Innovationsfähigkeit und zwar sowohl in Bezug auf Produkte und Produktionsmethoden als auch bei den allgemeinen betriebswirtschaftlichen Fähigkeiten. Hin-

zu kommt, dass Unternehmen vom Projektbeginn bis zur Marktreife mit sehr langen Zeitspannen rechnen müssen. Vom Beginn eines Forschungsprojektes bis zur Markteinführung der richtigen Lösung verstreichen bei pharmazeutischen und feinchemikalischen Produkten oder bei hochentwickelten Werkstoffen typischerweise 10 bis 20 Jahre. Das erfordert strenge und weitsichtige Auswahlprozesse.

Zurzeit erwächst den Unternehmen zudem durch zusätzliche Regulierungen im Innovationsprozess eine dramatische Kostensteigerung. Beispiele sind Bewilligungsverfahren wie die CE-Kennzeichnung sowie die REACH- oder FDA-Zulassung. Hinzu kommt, dass den Kunden ein gutes Preis-Leistungsverhältnis oft wichtiger ist als die Qualität und Umweltverträglichkeit der Produkte.

KMU sind meist nicht dafür gerüstet, sich im zunehmend komplexen Umfeld der pharmazeutischen und chemischen Produktion zurechtzufinden. Der Schweizer Regierung fällt deshalb die Aufgabe zu, hervorragende institutionelle Beziehungen zu den grossen Handelsnationen zu pflegen (Beispiele sind die WTO und die Europäische Union).

Disruptive Technologien

Dieser Begriff geht auf das englische Verb «disrupt» (unterbrechen, zerreißen) zurück und bezeichnet Innovationen, welche trotz anfänglich kleiner Marktdurchdringung das Potenzial haben, bestehende Technologien, Produkte oder Dienstleistungen vollständig zu verdrängen. Als Beispiel können die Digitalkameras genannt werden, die nach Startschwierigkeiten wegen zu geringer Auflösung die analogen Kameras fast vollständig vom Markt verdrängt haben.

Quelle: http://de.wikipedia.org/wiki/Disruptive_Technologie

Trotz aller Schwierigkeiten ist der Erfolg der Schweizer Pharma- und Chemieindustrie bemerkenswert. Schweizer Unternehmen sind weltweit in zahlreichen Bereichen führend, so etwa in der Agrochemie, im Bereich der Riech- und Aromastoffe, der Diagnostik, der Feinchemikalien, der Pharmazeutika, der Spezialchemikalien, der Bauchemie, der Lebensmittelzusatzstoffe, der Verpackung, der Klebstoffe und des Korrosionsschutzes.

Neue und bahnbrechende Technologien

Innovation bildet die Grundlage für den wissenschaftlich-technischen Fortschritt der schweizerischen chemisch-pharmazeutischen Industrie und ist letztlich auch die Voraussetzung für ihren wirtschaftlichen Erfolg. Während schrittweise technologische Neuerungen zur Verbesserung und Anpassung der Produktfamilien beitragen, haben **disruptive Technologien** das Potenzial, die Marktposition eines Unternehmens zu revolutionieren. In folgenden Bereichen sind grundlegende wissenschaftliche Entwicklungen mit bedeutenden wirtschaftlichen Auswirkungen zu erwarten:

- **Synthetische Biologie und Biotechnologie:** Gewisse Klassen von Chemikalien sind mithilfe der heute in petrochemischen Netzwerken verfügbaren Rohstoffe nur schwer synthetisierbar. Biologische Methoden, insbesondere im Rahmen des modularen Bausystems der synthetischen Biologie, ermöglichen es, viele komplexe Substanzen (zum Beispiel Biologika) billig herzustellen.
- **Zielgenauer Wirkstoffeinsatz:** Für eine wirksamere und nebenwirkungsärmere Behandlung werden pharmazeutische Wirkstoffe auf molekularer Ebene präzise in oder rund um die Zelle deponiert.
- **Energiespeichernde Chemikalien:** Der dringende Bedarf an Energiezwischenspeicherung und die begrenzte Verfügbarkeit gewisser zurzeit billiger Rohstoffe (zum Beispiel Lithium) machen die Entwicklung von neuen Speichertechnologien relevant. Denkbar sind *Redox-Flow-Batterien* mit üblichen Chemikalien oder die Energie-Speicher-Synthese von Stoffen wie Methanol oder Methan als Treibstoff im Transportbereich oder für die Rückgewinnung von Energie.

- **Aktive Packstoffe:** Verpackungssysteme für Lebensmittel, Arzneimittel und andere Produkte können die Haltbarkeitsdauer verlängern, Informationen zu Frische und Qualität liefern sowie Komfort und Sicherheit erhöhen.
- **Fortschrittliche Werkstoffe (Advanced Materials):** Die Weltwirtschaft steht am Beginn des grossflächigen Einsatzes von komplexen Werkstoffen, die ein grosses Spektrum von wichtigen Eigenschaften (zum Beispiel für chemische Sensoren) umfassen oder bisher nur manuell und unter grossem Aufwand hergestellt werden konnten (zum Beispiel komplexe Carbonteile). Wichtig werden auch selbstheilende Materialien und solche für organische Elektronik und Photonik.
- **Moderne Fertigungstechnik (Advanced Manufacturing):** Kontinuierliche Prozesse sind die Norm für grossvolumige Chemikalien, werden aber bei Spezialchemikalien und Pharmazeutika praktisch nie angewendet. Wegen der höheren Qualität und besseren Nutzung von Reaktanden und Installationen werden sie auch bei solchen Substanzen Standard.
- **Anpassung von Produktionsanlagen:** Existierende Prozesse müssen angepasst werden, damit die Fabrikation mit den in Nordamerika und Europa geltenden Bestimmungen bezüglich Registrierung, Evaluation, Bewilligung und Anwendungsbeschränkung von Chemikalien vereinbar ist.
- **Kreislaufwirtschaft:** Industrielle Wirtschaftssysteme, in denen eingesetzte Rohstoffe über den Lebenszyklus eines Produktes hinaus wieder nahezu vollständig in den Produktionsprozess zurückgelangen, werden an Bedeutung gewinnen.

REACH-Zulassung

Eine in den Mitgliedstaaten der EU geltende Verordnung (Nr. 1907/2006) zur Registrierung, Bewertung, Zulassung und Beschränkung chemischer Stoffe. Ziel ist, das mangelhafte Wissen über die meisten Chemikalien zu erweitern. Schweizer Firmen, die chemische Stoffe in die EU exportieren, haben selbst keine rechtlichen Pflichten gegenüber REACH, müssen unter REACH fallende Stoffe aber durch ihren EU-Importeur oder allenfalls durch einen Alleinvertreter in der EU registrieren lassen.

Quellen: <http://wirtschaftslexikon.gabler.de/Definition/reach.html>, <http://www.bag.admin.ch/anmeldestelle/13604/13766/13855/index.html?lang=de>

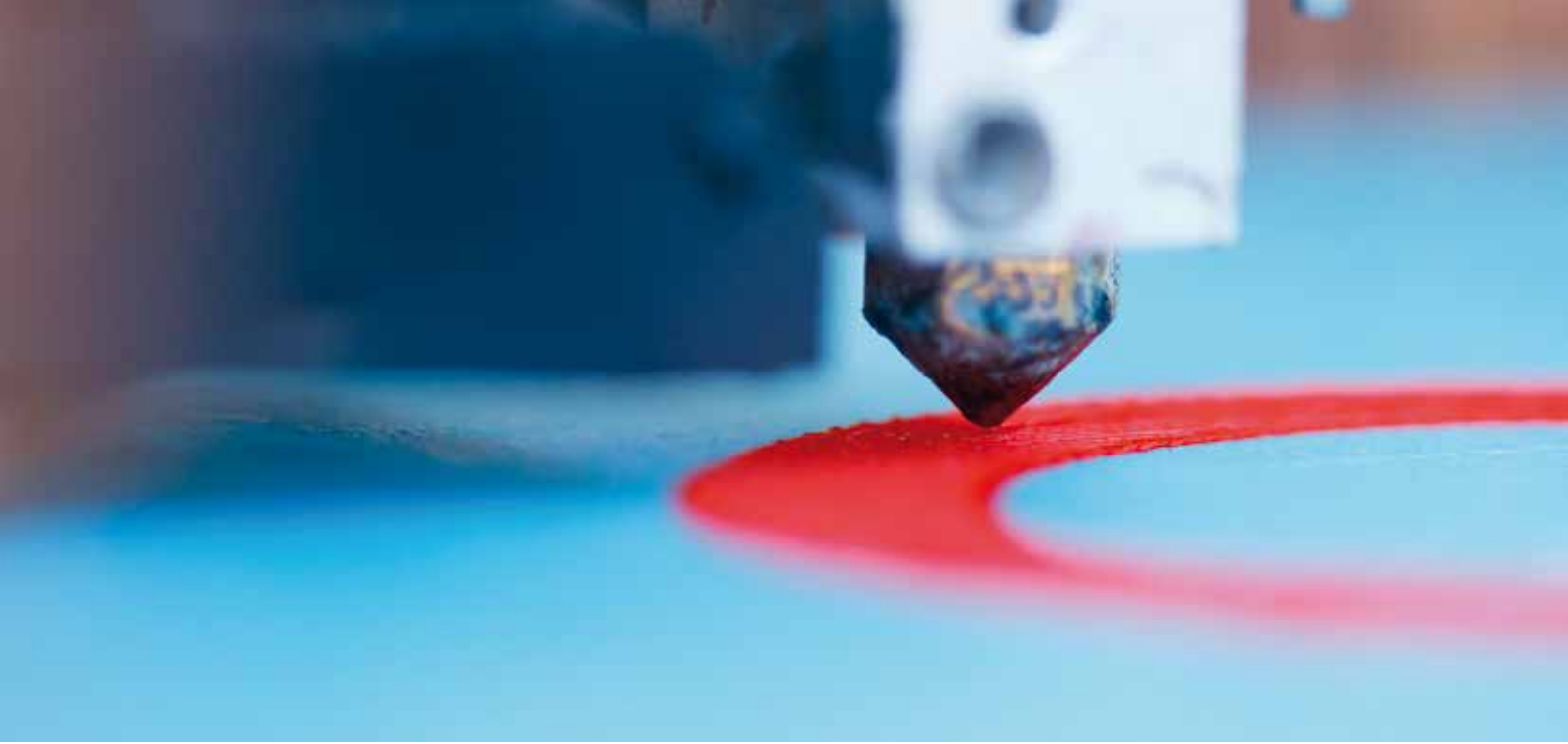
Synthetische Biologie

Fachgebiet im Grenzbereich von Molekularbiologie, organischer Chemie, Ingenieurwissenschaften, Nanobiotechnologie und Informationstechnik, in dem Biologen, Chemiker und Ingenieure zusammen daran arbeiten, biologische Systeme zu erzeugen, die in der Natur nicht vorkommen. Der Biologe wird so zum Designer von einzelnen Molekülen, Zellen und Organismen. Ziel ist, biologische Systeme mit neuen Eigenschaften zu erzeugen. Im Unterschied zur Gentechnik werden nicht nur einzelne Gene von einem Organismus zu einem anderen transferiert, sondern komplette, künstliche biologische Systeme erzeugt.

Quelle: http://de.wikipedia.org/wiki/Synthetische_Biologie

Redox-Flow-Batterien

Redox-Flow-Batterien sind elektrochemische Stromspeicher. Sie speichern elektrische Energie in einer flüssigen chemischen Verbindung (Elektrolyt). Die gespeicherte Energie wird in externen Tanks gelagert und kann bei Bedarf abgerufen werden. Redox-Flow-Batterien (auch Flüssigbatterien oder Nasszellen genannt) besitzen eine hohe Effizienz und sind gleichzeitig bedeutend langlebiger als herkömmliche Batterien. Aufgrund des Speicherprinzips lässt sich die Leistung unabhängig von der Kapazität skalieren.



Maschinenbau und Elektronik, Metallverarbeitung und Maschinenteile, Präzisionsinstrumente

Herausforderungen weltweit und in der Schweiz

Die Schweizer **Teile- und Komponentenzulieferindustrie** ist eng mit dem Maschinenbau in der Schweiz und im Ausland verbunden. Die meisten Schweizer Maschinenbauer beziehen ihre Maschinenbauteile in der näheren Umgebung, meist in einem Umkreis von etwa 200 Kilometern von ihrem Hauptstandort. Als Überlebensstrategie und um den hohen Wechselkurs des Schweizer Francs abzufedern, richten diese Unternehmen ihre Beschaffungsstrategien hauptsächlich auf Deutschland, Italien, Frankreich und Österreich aus. Weiter eingeschränkt wird der Stammmarkt der Schweizer Zulieferindustrie dadurch, dass die Einfuhrbestimmungen in verschiedenen Ländern der Welt, beispielsweise in China und den USA, die dortigen Teile- und Komponentenfertiger dazu verpflichten, ihre Produktion zu einem wesentlichen Teil lokal herzustellen. Dazu kommt, dass Schweizer Teile- und Komponentenhersteller nach allgemeiner Auffassung «nur» Produkte mit hoher Wertschöpfung liefern, was nachweislich nicht zutrifft. So zeigt eine Studie von Schulze et al.⁹, dass zumindest die Schweizer Automobilzulieferungsindustrie hochwertige Artikel zu sehr konkurrenzfähigen Preisen anbietet. Dennoch sind diese Schweizer Zulieferer keine Direktlieferanten – die grosse Herausforderung bleibt für sie des-

halb, sich in Systemeinheiten zu integrieren, um sich von der Konkurrenz abzuheben. Oft sind Schweizer Teile- und Komponentenhersteller um einen innovativen Herstellungsprozess gruppiert, den sie selber beherrschen.

In Bezug auf die Herstellungskosten kann die Schweiz die Konkurrenz mit Niedriglohnländern erwiesenermassen durchaus aufnehmen. Zudem ist Innovation in Fertigungsprozessen für das Erzielen von dauerhaften Wettbewerbsvorteilen oft wichtiger als innovative Neuprodukte. Schweizer Teile- und Komponentenhersteller halten ihre Innovationen zumeist als Betriebsgeheimnis unter Verschluss; nachteilig wirkt sich hier jedoch aus, dass es sich hauptsächlich um KMU handelt, die auf internationaler Ebene mit sehr viel grösseren Unternehmen im Wettbewerb stehen. Dasselbe trifft auf die gesamte Maschinenindustrie zu. Um solche Nachteile auszugleichen, muss der Technologietransfer zwischen Forschungszentren, Universitäten und Industrie verstärkt gefördert werden.

Intelligentes Energiemanagement

Intelligentes Energiemanagement ist notwendig, um den Energieverbrauch zu überwachen und gezielt zu steuern, gesetzliche Vorgaben zu erfüllen und damit im Endeffekt die Energiekosten deutlich zu senken.

Smarte Geräte, Deutsch: intelligente Geräte

Smarte Geräte sind elektronische Geräte mit interner Rechenleistung, die kabellos, mobil, vernetzt und mit verschiedenen Sensoren ausgerüstet sind. Dazu gehören medizinische Geräte, Flugzeuge, Kameras, Smartphones, Tablets, Datenbrillen, Autos und andere informationstechnisch aufgerüstete Alltagsgegenstände, die durch sensorgestützte Informationsverarbeitung und Kommunikation einen Mehrwert erhalten.

Quelle: http://www.iml.fraunhofer.de/de/themengebiete/informationslogistik_und_assistenzsysteme/smart_devices.html

Zum breiten **Sektor der Präzisionsinstrumente (PI)** gehören die Produktklassen «elektromechanische Mess- und Testgeräte sowie Sensoriksysteme», «optische Geräte» und «Messinstrumente». Der grösste Teil des Sektors besteht in der Schweiz aus KMU, die in einer bestimmten hochspezialisierten Marktnische zu so genannten Global Players aufgestiegen sind.

Weltweite Megatrends wie Verstärkung, **intelligentes Energiemanagement** und Förderung nachhaltiger Energieressourcen führen zu einer verstärkten Nachfrage im Bereich der Messung und Überwachung von kritischen Infrastrukturen, Arbeits- und Produktionsprozessen. Um in dieser Entwicklung eine entscheidende Rolle zu spielen, muss die Schweizer PI-Industrie gewisse Herausforderungen meistern. Nachfolgend drei wichtige Beispiele:

- **Das IoT:** Die IoT-Revolution bedingt eine viel höhere Integrationsdichte in komplexen, top-down angelegten Systemen¹⁰. Das führt dazu, dass die Marktakzeptanz aller Messgeräte und/oder Sensorsysteme, die für die Fertigung verwendet oder fest installiert werden, die Interaktion mit einem spezifischen digitalen Modellsystem voraussetzt.

- **Intelligente Sensoren:** Die Mikrotechnik hat im Bereich der Fertigungsmethoden exponentielle Fortschritte erlaubt, so beispielsweise die Herstellung von preiswerten Sensoren für eine grosse Zahl von physikalischen Parametern. Billige Sensoren sind jedoch oft ungenauer, was durch aufwendige Software und Kalibrierverfahren ausgeglichen werden muss. Das führt dazu, dass in solchen immer komplexeren intelligenten Präzisionsensorsystemen die Bedeutung der Softwarekomponenten laufend zunimmt.
- **Hochintegrierte Mechatronik:** Kostengünstige kleine Sensoren eröffnen auch die Möglichkeit, traditionell rein mechanische Bauteile zu hoch integrierten Systembauteilen mit neuem Mehrwert zu «veredeln», so zum Beispiel Lagersysteme mit integrierten Positions- und Geschwindigkeitssensoren oder Dichtungen mit Füllstandssensoren. In Verbindung mit dem IoT eröffnet dies im Bereich der Zustandsüberwachung von Systemen völlig neue Möglichkeiten und Dienstleistungen.

Additive Fertigungstechnologien / Additive Manufacturing

Oberbegriff für alle Fertigungsverfahren, bei denen dreidimensionale Bauteile schichtweise aus einem formlosen (zum Beispiel Pulver oder Flüssigkeit) oder formneutralen Stoff (zum Beispiel Draht oder Folie) aufgebaut werden. Je nach Verfahren eignen sich additive Fertigungstechnologien für die Herstellung von Anschauungsobjekten, Funktionsprototypen oder hochbelasteten Bauteilen in Serienanwendungen.

Neue bahnbrechende Technologien

Im Bereich von **Maschinenbau, Maschinenteilen** und den damit zusammenhängenden **Materialien** zeichnet sich die Entwicklung von neuen und disruptiven Technologien ab. Wichtige Beispiele sind:

- **Additive Fertigungsverfahren (Additive manufacturing; AM), Materialentwicklung im AM-Bereich und die Anwendung der additiven Fertigung für die Herstellung von Bauteilen.** Diese Technologien (inklusive der zunehmend populären Methode des 3D-Drucks) spielen in verschiedensten Fertigungsprozessen eine immer stärkere Rolle. Sie haben einerseits das Potenzial, traditionelle Prozesse zu verdrängen, ermöglichen andererseits aber die Fertigung von Strukturen, Materialien und Geometrien, die bisher mit keinem herkömmlichen Verfahren möglich war. Zurzeit ist die Palette der zur Verfügung stehenden Werkstoffe allerdings relativ beschränkt. Die Bedürfnisse der ganzen Produktionsprozesskette müssen erst noch abgedeckt werden, beispielsweise durch die Entwicklung diverser Werkstoffe (inklusive Legierungen) in Pulverform und die Weiterentwicklung der Prozesse für heute bereits verwendete Materialien.
- **Hochentwickelte Oberflächen- und Füge-technologien.** Diese Art von Technologien wird in der Bauteilfertigung künftig eine entscheidende Rolle spielen. Beschichtungen mit verringertem Oberflächenwiderstand und verbesserter Haftung an Substratwerkstoffen, Maschinen für Beschichtungsprozesse, *CVD, PVD, PECVD, HVOF*, thermisches Spritzen und Kaltgasspritzen sind Beispiele für Entwicklungen, die den Stand der Technik bedeutend verändern dürften. Die Entwicklung weiterer Oberflächenfunktionalitäten hat zudem das Potenzial, neue Technologien hervorzubringen. Beispiele aus dem Bereich der Energiematerialien sind Energiespeicher- und Energiewandlungsgeräte wie Batterien, *Brennstoffzellen* oder Thermoelektrik.
- **Neue Werkstoffe.** Dazu gehört die Entwicklung von ultraharten, intelligenten oder leichten Materialien mit hervorragenden mechanischen und physikalischen Eigenschaften. Dies setzt die gleichzeitige Entwicklung von Fertigungsverfahren und geeigneten Instrumenten voraus, beispielsweise nach *DIN 8580*, und kann das Aufkommen neuer Technologien anstossen.

Im weiten Feld der Präzisionsinstrumente sind drei Technologien für die zukünftige Ausrichtung der industriellen Tätigkeit besonders wichtig:

- **Unter dem Begriff IoT zusammenfassbare vernetzte Subsysteme und Systeme:** Das Baugewerbe erwägt zurzeit die Umsetzung der so genannten Gebäudedatenmodellierung (Building information modeling, BIM). Dies ist im Wesentlichen ein Prozess, der die Planung, Ausführung und Verwaltung einer numerischen Darstellung der physikalischen und funktionalen Eigenschaften eines Bauwerks (Gebäude, Fabrik, Staudamm und so weiter) umfasst. Diese Methode setzt voraus, dass alle Messgeräte und Sensorsysteme, die für den Bau verwendet oder über den gesamten Lebenszyklus eines Bauwerks fest installiert werden, ständig mit dem Modell interagieren und es aktualisieren. Ein anderes Beispiel ist eine unlängst unter dem Begriff «**Industrie 4.0**» lancierte Initiative. Der ganze Fertigungsprozess von industriellen Waren und Gütern wird hier durch ein digitales Modell begleitet, das die Planung, Kontrolle und Dokumentation der Arbeitsabläufe über die gesamte Zulieferkette hinweg ermöglicht.

Industrie 4.0

Industrie 4.0 bezeichnet die vollständige Durchdringung von Industrie, Produkten und Dienstleistungen mit Software sowie die Vernetzung von Produkten und Dienstleistungen. Ein bekanntes Beispiel ist die Produktionsmaschine, die über Sensoren rechtzeitig erkennt, dass ein Werkzeug ausgewechselt werden muss, den Bestand in der Lagerverwaltung abfragt und das benötigte Ersatzteil bei Bedarf selbstständig beim Lieferanten bestellt.

- **Die Eingliederung ausgereifter, für andere Schlüsselmärkte entwickelter Komponenten:** Komponenten, die für andere Marktsegmente wie die Telekommunikation, die Auto-, Unterhaltungs- und Spielindustrie entwickelt wurden, haben das Potenzial, den Bereich der PIs grundlegend zu verändern. Ein frühzeitiges Erkennen und Verstehen neu aufkommender Technologien gefolgt von Optimierung und nahtloser Integration kann zur Entwicklung konkurrenzfähiger neuer Produkte und Lösungen beitragen.
- **Feinoptische Bearbeitungs- und Messmethoden:** Zurzeit sind weltweit grosse Forschungs- und Entwicklungsanstrengungen im Gange, um die kosteneffiziente Miniaturisierung von Bauteilen und Subsystemen im ultravioletten und infraroten Spektralbereich voranzutreiben¹¹. Fortschritte in diesem Bereich werden zur Realisierung von Lasermikrobearbeitungsanlagen mit Genauigkeit im Submikrometerbereich sowie mit einer Oberflächenrauheit von rund 10 Nanometern sowie zur Entwicklung von Hochgeschwindigkeitssensoren mit Subnanometergenauigkeit für die 3D-Messtechnik führen. Dies wird die Entstehung von Mikrofertigungszentren zur Produktion kompletter, hochpräziser optischer Systeme einschliesslich optischer Beschichtung in einem einzigen Arbeitsgang ermöglichen. Eine weitere vielversprechende Nutzung des infraroten Spektralbereichs ist die kontaktlose biochemische Bestimmung von Probenmengen und die Vermessung von Oberflächen, beispielsweise durch hochsensible Techniken zur Bestimmung der «spektralen Fingerabdrücke chemischer Stoffe»¹². Dies kann zu bahnbrechenden Entwicklungen führen, etwa der kostengünstigen Integration von komplexen Präzisionsanalyseinstrumenten in gängigen mobilen Endgeräten wie Smartphones.

Chemische Gasphasenabscheidung (CVD)

Eine Gruppe von Beschichtungsverfahren (Englisch Chemical Vapour Deposition), die unter anderem bei der Herstellung von mikroelektronischen Bauelementen eingesetzt werden. Dabei wächst an der erhitzten Oberfläche eines Substrats aufgrund einer chemischen Reaktion aus der Gasphase eine neue Feststoffkomponente.

Quelle: http://de.wikipedia.org/wiki/Chemische_Gasphasenabscheidung

Physikalische Gasphasenabscheidung (PVD)

Der englische Begriff «Physical Vapour Deposition» umfasst eine Gruppe von vakuumbasierten Beschichtungsverfahren und Dünnschichttechnologien. Im Gegensatz zum CVD wird das Ausgangsmaterial hier in die Gasphase übergeführt und zum Substrat geleitet, das beschichtet werden soll. Dort kondensiert es und bildet die Zielschicht. PVD wird hauptsächlich zur Abscheidung dünner Schichten im Bereich von einigen Nanometern bis hin zu einigen Mikrometern verwendet. Anwendungen finden sich in vielen industriellen Bereichen.

Quelle: http://de.wikipedia.org/wiki/Physikalische_Gasphasenabscheidung

Plasmaunterstützte chemische Gasphasenabscheidung (PECVD)

Unter PECVD (Englisch Plasma-Enhanced Chemical Vapour Deposition) versteht man eine Sonderform der chemischen Gasphasenabscheidung, bei der die Abscheidung durch ein Plasma unterstützt wird. Im Gegensatz zur CVP erhöht sich die Temperatur weniger stark, sodass auch temperaturempfindlichere Materialien beschichtet werden können.

Quelle: http://de.wikipedia.org/wiki/Plasmaunterst%C3%BCtzte_chemische_Gasphasenabscheidung

Hochgeschwindigkeitsflammspritzen (HVOF)

Beim Hochgeschwindigkeitsflammspritzen (Englisch High Velocity Oxygen Fuel) wird der pulverförmige Spritzwerkstoff mit hoher Geschwindigkeit (Überschall) auf den zu beschichtenden Grundwerkstoff gespritzt. Das Verfahren erlaubt sehr dichte und extrem dünne Spritzschichten mit ausgezeichneten Hafteigenschaften, niedriger Porosität und guter Massgenauigkeit.

Quelle: <http://www.buehrer-ag.ch/hvof.html>

Brennstoffzellen

Wandeln chemische Energie direkt und geräuschlos in elektrische Energie um. Brennstoffzellen verfügen über ein breites Anwendungspotenzial: für den Antrieb von Fahrzeugen, die stationäre Energieversorgung, aber auch für den Einsatz in elektronischen Kleingeräten; sie gelten deshalb als bedeutende Zukunftstechnologie.

DIN 8580

Eine DIN-Norm ist ein unter der Leitung des Deutschen Instituts für Normung erarbeiteter freiwilliger Standard, der materielle und immaterielle Gegenstände vereinheitlicht. Die gängige Norm für Fertigungsverfahren ist die DIN-Norm 8580.

Quellen: <http://de.wikipedia.org/wiki/DIN-Norm>

<http://de.wikipedia.org/wiki/Fertigungsverfahren>



Uhren und Schmuck

Herausforderungen weltweit und in der Schweiz

Die Uhrenindustrie ist weltweit eine der wettbewerbsintensivsten, dynamischsten und sichtbarsten Wirtschaftszweige und die Schweiz als der wertmässig grösste Uhrenexporteur spielt hier eine zentrale Rolle¹³. Die Uhren- und Schmuckbranche ist nicht nur der dritt wichtigste Exportzweig der Schweizer Wirtschaft (Abbildung 1 auf Seite 13), ihre Produkte symbolisieren auf der ganzen Welt die typischen Werte der einheimischen Industrie: Präzision, Qualität, Zuverlässigkeit und Werthaltigkeit. Wir leben in einer Epoche, in der verschiedenste tragbare Geräte, vom Smartphone bis zum GPS-Empfänger, die Zeit angeben. Für das Tragen einer Schweizer Uhr gibt es heute deshalb nicht mehr nur funktionale, sondern insbesondere auch emotionale Gründe. Daraus erwächst der

Schweizer Uhrenindustrie die grosse Herausforderung, Technologie und Innovation mit Geschichte, Tradition und Image zu verschmelzen. Eine Schweizer Uhr soll nicht nur die Zeit exakt messen; wer sie trägt, sagt gleichzeitig auch viel über seine/ihre Werte und Vorlieben aus: Er oder sie schätzt Präzision, Zuverlässigkeit und Langlebigkeit, mag Eleganz, Tradition, Echtheit, Prestige und zuweilen Luxus. Während langer Zeit garantierte das Prädikat «Swiss Made» diese Qualitäten. Alles, was diese Situation und ihre Wahrnehmung in Frage stellt, stellt gleichzeitig eine fundamentale Bedrohung für diese Schlüsselbranche der Schweizer Industrie dar.

Die Schweizer Uhrenindustrie erfreut sich nach wie vor eines bedeutenden weltweiten Exportwachstums. Gewisse Entwicklungen der letzten Zeit könnten den zukünftigen Geschäftserfolg aber beeinträchtigen:

- Zunehmende **regulatorische Einschränkungen und Verbote** können der Schweizer Uhrenindustrie auf zwei Weisen schaden. Als mögliche Gefährdung erscheinen sowohl die gegenwärtig geplanten Änderungen im Umgang mit dem Label «Swiss Made» als auch die Verpflichtung zur Lieferung von Komponenten und Uhrwerken an konkurrenzierende Unternehmen. Die Nachfrage nach alternativen Lieferquellen für Uhrenbestandteile und komplette Uhrwerke kann bei gewissen Endprodukten zu Qualitätseinbußen führen. Die Herausforderung ist deshalb, neue und innovative Produktionsmethoden zu entwickeln und in die Produktion zu überführen, die gleichzeitig eine Qualitätsverbesserung darstellen, und die Fabrikationskosten verringern. Ziel ist die garantierte Qualität von Produkten, die nach wie vor in der Schweiz hergestellt werden oder deren Fabrikation dank neuer Verfahren in die Schweiz zurückgeholt werden kann.
- Die **iWatch**, grundsätzlich weiter nichts als eine Erweiterung der Smartphone-Plattformen und somit kein eigentliches Uhrenprodukt, kann die klassischen Uhrenprodukte bedrohen, weil sie den Platz am Handgelenk der Kunden in Beschlag nimmt. Da die Funktionalität einer iWatch durch den Zugriff auf die immensen Möglichkeiten der Smartphone-Plattform sehr breit gefächert ist, dürften gewisse Gruppen von Uhrenträgern zugunsten von iWatch-Produkten langfristig auf das Tragen einer Uhr verzichten. Um diesen Trend zu kontern, muss es der Uhrenindustrie gelingen, den dauerhaften emotionalen Mehrwert ihrer Produkte – beispielsweise den Aspekt des «erschwinglichen Luxus» – in den Vordergrund zu rücken.

Andererseits könnten neue einschränkende umweltgesetzliche Bestimmungen für traditionell in der Uhrenindustrie eingesetzte Materialien bedeuten, dass bewährte Fabrikationsverfahren und Werkstoffe nicht mehr zugelassen sind. Naturgemäss ist in der Uhren- und Schmuckindustrie die Ästhetik der Produkte von entscheidender Bedeutung und gerade bei der Oberflächenbearbeitung auf höchster Qualitätsstufe kommen Metalllegierungen, Veredelungsstoffe und Lösungsmittel zum Einsatz, die schädliche Substanzen enthalten. Hier müssen alternative Lösungen erforscht, entwickelt und evaluiert werden.

Neue bahnbrechende Technologien

- Neue, hochpräzise und doch kostengünstige **Materialbearbeitungsverfahren**, die in anderen Branchen bereits üblich sind, kommen zunehmend auch in der Uhrenindustrie zum Einsatz, vor allem das (Femtosekunden-)Laserschneiden und das Wasserstrahlschneiden. Diese Verfahren garantieren eine Bearbeitungsgenauigkeit im Mikrometer-Bereich sowie ausgezeichnete Oberflächengüten, ohne dass dafür teure Werkzeuge nötig wären, weder für metallische noch für keramische Materialien. Sofern das Oberflächenfinish ohne Nachbearbeitung eine genügend hohe Qualität aufweist, stellen diese neuen Verfahren eine interessante Möglichkeit für die kostengünstige Produktion kleiner Serien dar.

- Es ist heute noch nicht klar, ob die **additiven Herstellungsverfahren** («3D-Drucken») für die Präzisionsprodukte der Uhrenindustrie eine genügend grosse Genauigkeit und Oberflächenqualität aufweisen. Es könnte aber durchaus sein, dass diese flexiblen Verfahren in der Uhren- und Schmuckbranche zu neuen Design- und Produktionsmethoden für Komponenten und Teilsysteme führen, in Kombination mit neuen Materialien speziell auch für die dekorativen Teile dieser Produkte.
- Die **Verfügbarkeit von neuen Materialien** – wie ultraharte Metalle, Keramiken und einkristalline Werkstoffe – schafft Herausforderungen, aber auch Chancen für die Herstellung von hochqualitativen, ultra-zuverlässigen, äusserst langlebigen und trotzdem kostengünstigen Uhren. Grosses Innovationspotenzial liegt dabei in der Entwicklung von Bearbeitungsmethoden, die die Eigenschaften der neuen Materialien optimal nutzen und die Formgebung mit Mikrometerpräzision und makellosem Oberflächenfinish ohne aufwendige Nachbearbeitung ermöglichen.
- Trotz der erstaunlich kleinen Leistungsaufnahme von Quarzuhren müssen ihre **Batterien** noch immer alle paar Jahren ersetzt werden. Die kluge Weiterentwicklung der Nutzung natürlicher Energiequellen am Handgelenk der Uhrenträger (zum Beispiel Bewegungsenergie, Temperaturdifferenzen¹⁴) könnte es in Zukunft ermöglichen, elektronische Uhren mit «ewiger Gangreserve» zu entwickeln und herzustellen.



Medizintechnik

Herausforderungen weltweit und in der Schweiz

Das Gesundheitswesen durchläuft gegenwärtig auf der ganzen Welt einen fundamentalen Wandel, vom bisherigen primär nach Krankheitsausbruch einsetzenden kurativen Vorgehen bis hin zum vorausschauenden und vorbeugenden Ansatz der sogenannten 4P-Medizin (personalisiert, prädiktiv, präventiv, partizipativ). Die enormen Fortschritte der letzten Jahrzehnte im Bereich der *Genomik* und *Metabolomik* haben zum Verständnis der molekularen Ursachen

vieler Krankheiten geführt. So können sich anbahnende Krankheiten frühzeitig erkannt, ihre Abhängigkeit von Umweltfaktoren erfasst und ihre individuelle Entwicklung bei den Patienten verfolgt werden. Dies ermöglicht die Behandlung mit einer auf die biologische Ausstattung der einzelnen Patienten zugeschnittenen und deshalb nebenwirkungsarmen medikamentösen Therapie sowie die Überwachung des Therapieerfolgs. Es versteht sich von selbst, dass die hochspezifische und empfindliche Diagnostik eine zentrale Komponente dieser Entwicklung ist.

Damit die 4P-Medizin bedarfsgerecht und kostengünstig realisiert werden kann und ihr volles Potenzial entfaltet, muss eine Reihe von anspruchsvollen Herausforderungen gemeistert werden. Notwendig sind insbesondere:

- ein effizienter Umgang mit der Komplexität und der hohen Interdisziplinarität von medizintechnischen Produkten
- ein durchgängiger und wirksamer Einsatz der Informationstechnologie (IoT, Smart Sensors, **eHealth**; siehe auch Kapitel «Informations- und Kommunikationstechnologien (IKT)»)
- intuitive Schnittstellen zwischen Menschen, Programmen und Maschinen

eHealth

eHealth beinhaltet alle Aspekte der Erhebung, Prozessierung und Verwaltung von persönlichen Gesundheitsdaten, die digital aufgenommen oder in eine digitale Form konvertiert wurden. Dazu zählen Daten aus traditionellen Quellen wie dem elektronischen Patientendossier und dem PACS-System für digitale Daten aus bildgebenden Verfahren (Radiologie, Nuklearmedizin und so weiter), aber auch Daten aus genomischen Sequenzierungen und physiologischer Überwachung.

- regulatorische Bedingungen, die klar stipulieren, welche Evidenz in einem von raschem Wandel geprägten Wirtschaftsumfeld für den therapeutischen Mehrwert von neuartigen, personalisierten 4P-Lösungen erbracht werden muss
- Strategien, um dem enormen Preisdruck in einer globalisierten und hochkompetitiven Welt standhalten zu können
- die Auseinandersetzung mit Haftungsproblemen, die als Konsequenz der wachsenden Komplexität medizintechnischer Lösungen mit zunehmend vernetzten Teilsystemen auftreten
- eine Vereinheitlichung der zunehmend komplizierteren nationalen und internationalen Zulassungsverfahren, die insbesondere mit den immer kürzeren Innovationszyklen im Gesundheitswesen zusammenhängen.

Neue bahnbrechende Technologien

Das Gesundheitswesen entwickelt sich in Richtung komplexerer und leistungsfähigerer Lösungen, in denen sich die Grenzen zwischen den Disziplinen immer stärker verwischen, wie in Abbildung 2 illustriert. Aus diesem Grund zeichnen sich die gegenwärtig neu entstehenden disruptiven Technologien durch starke Interdisziplinarität aus:

- Kombination der Diagnostik mit therapeutischen Nano-Mikrosystemen (**Theranostik**), wobei Schlüsselkomponenten aus der Medizintechnik, Biochemie, Pharmazie und der Materialwissenschaft verknüpft werden müssen, speziell für die Krebstherapie der Zukunft¹⁵.
- Die **regenerative Medizin** zielt darauf ab, natürliche Organe aus körpereigenen Zellen der Patienten zu züchten. Vielversprechende Ansätze im Bereich von verschiedenen Gewebearten (Zähne, Knorpel, Kno-

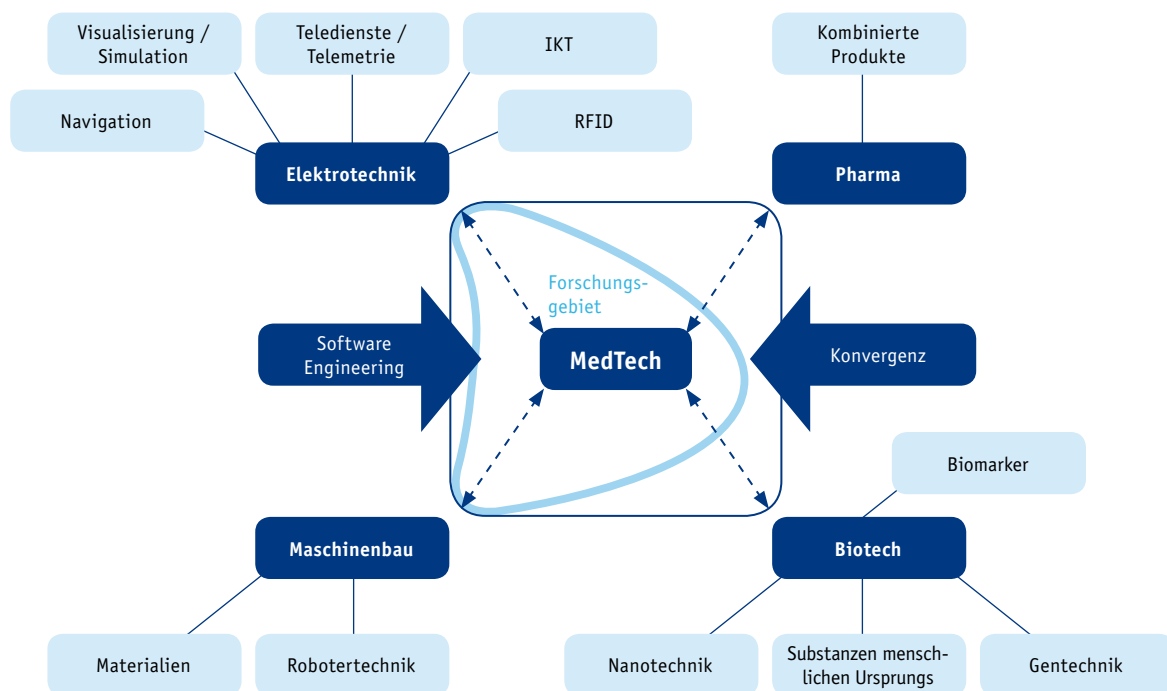


Abbildung 2: Illustration der wachsenden Komplexität und Interdisziplinarität der heutigen und zukünftigen MedTech-Industrie; Quelle: P. Dümmler and B. Hofrichter. Swiss Medical Technology Industry Survey 2010. Bern: Swiss Medical Cluster; 2010.

chen, Haut, Blutgefässe) liegen heute bereits vor¹⁶. Es wird erwartet, dass spezielle additive Herstellungsverfahren («Biologische 3D-Drucker») hier eine wichtige Rolle spielen werden.

- Sowohl die Geschwindigkeit als auch die Präzision chirurgischer Eingriffe werden bedeutend erhöht, sobald die **roboterassistierte Chirurgie** zum medizinischen Alltag gehört¹⁷. In Kombination mit bekannten und neuartigen bildgebenden Verfahren ist schon heute denkbar, dass Roboter bald vollständige Operationen selbständig durchführen können. Allerdings sind noch viele regulatorische, ethische, rechtliche und haftungstechnische Hürden zu überwinden, bevor solche Innovationen Teil der klinischen Routine werden.
- Ein grosser Teil der klinischen Diagnostik beruht noch immer auf biochemischen Reaktionen, deren zuverlässige Durchführung zentralisierte Labors voraussetzt. Der zunehmende Druck, über kostengünstigere und schnellere Tests direkt am Bett der Patienten zu verfügen (*Point-of-Care-Diagnostik*), hat bereits zu innovativen mikrofluidischen Diagnostiklösungen mit integrierter Probenaufbereitung geführt. In weiterer Zukunft werden diese POC-Tests durch universelle physikalische Diagnoseverfahren ergänzt werden (**Fingerprinting Diagnostics**), die die gleichzeitige Durchführung einer grösseren Zahl von Tests erlauben. Zu diesem Zweck wird zurzeit an miniaturisierten, spektroskopischen Verfahren gearbeitet¹⁸.

Genomik

Das Genom ist die Gesamtheit aller vererbaren Informationen in einer Zelle, die in einem vollständigen Chromosomensatz enthalten sind. Genomik ist ein Forschungszweig, der sich mit der systematischen Analyse des Genoms und seinen Funktionen beschäftigt. Der Sprung von der Untersuchung einzelner Gene (Genetik) zur Analyse ganzer Genome (Genomik) ist untrennbar mit der Automatisierung und Miniaturisierung etablierter Methoden der Gentechnologie und Biochemie sowie der Verbesserung von Detektionstechniken verbunden.

Quelle: <http://de.wikipedia.org/wiki/Genom>

http://www.roche.com/de/research_and_development/what_we_are_working_on/research_technologies/informatics-based_technologies/genetics_and_genomics.htm

Point-of-Care-Diagnostik (POCT)

Der Begriff umschreibt patientennahe Labordiagnostik und bezeichnet in der Medizin diagnostische Untersuchungen, die nicht in einem Zentrallabor, sondern unmittelbar auf der Krankenstation eines Spitals, in den Arztpraxen oder in öffentlichen Apotheken durchgeführt werden. Bei einigen Anwendungen, zum Beispiel bei Schwangerschaftstests oder Blutzuckermessungen, ist auch eine Anwendung durch die Patienten selbst vorgesehen.

Quelle: <http://de.wikipedia.org/wiki/Point-of-Care-Testing>



Bereiche, in denen technologische Durchbrüche erwartet werden





Energie und Verkehr

Ausgangslage

Energie und Verkehr sind für die Wirtschaft und den Wohlstand moderner Gesellschaften von grosser Wichtigkeit. Die Ausgaben für Energie belaufen sich auf rund 5 Prozent des Bruttoinlandprodukts (BIP) der Schweiz und auf bis zu 10 Prozent in anderen europäischen Staaten. Infolge der Preisschwankungen auf dem weltweiten Energiemarkt können diese Zahlen stark variieren.

Elektrizität, häusliche und industrielle Wärme sowie Transport und Verkehr machen einen Grossteil des Primärenergiebedarfs und der damit verbundenen Treibhausgasemissionen aus, es gibt allerdings grosse geografische Unterschiede und divergierende Trends. Fossile Brennstoffe dominieren die Energieversorgung (über 80 Prozent weltweit, 70 Prozent EU, mehr als 55 Prozent CH) und daran wird sich, zumindest im globalen Massstab, auch weiterhin nichts ändern¹⁹. Trotz bestehender Energieeinsparpotenziale wird auch die Nachfrage nach Strom weiter wachsen und zwar hauptsächlich, weil Strom für eine zunehmende Anzahl von Energiedienstleistungen und neue Anwendungsgebiete (Elektromobilität) attraktiv ist. Höchstwahrscheinlich werden sich – zumindest in Europa – Strategien und politische Massnahmen im Energiebereich weiterhin

auf die Reduktion von Treibhausgasemissionen sowie auf Versorgungssicherheit und erschwingliche Preise konzentrieren. Die Nutzung erneuerbarer Energiequellen wird bedeutend zunehmen; manche Länder werden weiterhin auf Kernenergie setzen, während andere, wie die Schweiz und Deutschland, den schrittweisen Ausstieg planen. Anlass zu emotionalen gesellschaftlichen Debatten könnte hierzulande zudem die Tatsache geben, dass ein Verzicht auf den Fleischkonsum in der Schweiz den gesamten Einfluss des privaten und öffentlichen Verkehrs auf den Wärmehaushalt kompensieren könnte.

Ambitionierte politische Rahmenprogramme sind entwickelt worden, mit dem Hauptziel, den Energiebereich und insbesondere den Strombereich vollständig zu *dekarbonisieren*. Die Ausgangslage ist unterschiedlich: Zurzeit stammen 45 Prozent des gesamten elektrischen Stroms in der EU aus kohlenstoffarmen Energiequellen, in der Schweiz sind es bis zu 96 Prozent.

Hinzu kommt, dass in Europa ein Drittel aller Kraftwerke (und sogar zwei Drittel der Kernkraftwerke) bis 2020 das Ende ihrer technischen Lebensdauer erreichen und in den nächsten zwei Jahrzehnten ersetzt werden müssen, was der Industrie grosse Chancen eröffnet. Folgende Entwicklungen werden damit einhergehen:

- Ansporn zu Energieeinsparungen und verbesserter Effizienz im Bereich des nachhaltigen Bauens und der Zukunft des Bauwerks Schweiz (Gebäudepark, Infrastrukturbauten und Siedlungen)²⁰: Erstellung, Betrieb und Unterhalt des Gebäudeparks machen fast 50 Prozent des Energiebedarfs in der Schweiz aus und tragen massgeblich zu den CO₂-Emissionen bei. Hauptverantwortlich dafür sind etwa 1,5 Millionen Gebäude mit unzureichender Wärmedämmung und veralteter Heiztechnik. Die Transformation dieser Gebäude durch umfassende Erneuerungen oder Ersatzneubauten ist eine gewaltige technologische und auch finanzielle Herausforderung, die koordinierte Anstrengungen seitens der Forschung und der Industrie erfordert.
- Die Nutzung wichtiger Schlüsseltechnologien für Speicherung und Elektromobilität
- Ausbau und Modernisierung von Infrastrukturen, das heisst der Übertragungs- und Verteilungsnetze
- Entstehen eines integrierten und wettbewerbsfähigen europäischen Strommarktes
- Zunehmende Smartifizierung vernetzter Systeme infolge der allgegenwärtigen Durchdringung durch moderne IKT und Entwicklungen wie dem IoT. Dies wird einerseits zu einer Verbesserung des *Demand-Side-Management (DSM)* auf Kundenseite führen, andererseits zur Integration (kleiner) dezentraler Stromquellen in (grosse) zentrale Kraftwerken und zur Energieernte auf Verteilerseite.

Energie und Verkehr sind eng verbundene Bereiche, haben gemeinsame Treiber und bedürfen deshalb einer integrierten Betrachtung. In beiden Bereichen sind tiefgreifende Veränderungen vorhersehbar, die sich aber nur durch umfangreiche Investitionen umsetzen lassen werden. Neue Gefahren und Anfälligkeiten (zum Beispiel für *Cyberattacken*) werden ins System eingeschleust und müssen bewältigt werden. An ihren Berührungspunkten wird es zwischen den beiden Bereichen zunehmend zu Schnittstellen und gelegentlich sogar zu Verschmelzungen kommen, was sich am Zukunftskonzept der Smart Cities exemplarisch aufzeigen lässt, in denen der ver-

antwortungsvolle Umgang mit Ressourcen ebenso das intelligente Mobilitäts- wie das intelligente Infrastruktur- und Energiemanagement umfasst.

Die **Stromversorgungssysteme**, das heisst sowohl die Hochspannungsnetze als auch die Mittel- und Niederspannungsnetze, durchlaufen anspruchsvolle strukturelle Veränderungen, um die künftige Nachfrage weiterhin befriedigen zu können und um neuen Ansprüchen und ehrgeizigen Zielsetzungen zu genügen, zum Beispiel dem Erreichen eines hohen Dekarbonisierungsgrades und einer massiven Verlagerung hin zu erneuerbaren Stromquellen wie Windturbinen und Solarkraftwerken. Für die Frequenz- und Spannungsstabilisierung im Stromnetz werden neuartige technische und strukturelle Mittel sowie die entsprechenden regulatorischen Standards und gesetzlichen Rahmenbedingungen benötigt. Dies bedingt eine intelligentere Netzsteuerung und -kontrolle sowie neue Formen von DSM. Es wird zudem zur Einführung von neuen Geräten wie Smart Meters und intelligenten Schaltern sowie der Zuweisung entsprechender Regelfunktionen an private Haushalte führen. Kurzfristiger Energiehandel und die kontinuierliche Überwachung von Sicherheitskriterien, beispielsweise nach dem bekannten (*N-1*)-Konzept, erfordern ein kontinuierliches Online-Monitoring der Stromnetze und der Datenübertragungssysteme. Dies alles wird, über ausreichend sichere Hard- und Software, zu einer weiteren Zunahme der IKT-Durchdringung aller Systeme führen.

Eine wesentliche Herausforderung für die Industrie wird es sein, wirtschaftliche und gleichzeitig zuverlässige Sensoren, Überwachungs- und Messsysteme bereitzustellen sowie neuartige Kontroll- und Schalterfunktionen zu entwickeln, was zu einer enormen Nachfrage nach bi-direktionalen Informationsflüssen führen wird. Neuen Akteuren wie Händlern und Privathaushalten muss eine Art «Fernkontrolle» über den Netzbetrieb eingeräumt werden.

Die revolutionäre Veränderung hin zur schnelleren Einbindung einer grossen Anzahl entstandener erneuerbarer Energiequellen lässt sich nur umsetzen, wenn es gelingt, technologische Lösungen für eine ausreichende Reservestromversorgung und genügende Energiespeicherkapazitäten zu erschwinglichen Preisen zu entwi-

ckeln, zu installieren und zu integrieren. Zusätzlich müssen die Energieversorgerwerke auch ihr Geschäftsmodell anpassen und von der reinen «Energiebereitstellung (kWh)» zu einem Modell vom Typus «Energie- und Stromdienstleistungen in einem kompetitiven Marktumfeld» übergehen.

Der Bereich des **Passagier- und Güterverkehrs** wird ebenfalls von grösseren technischen und strukturellen Veränderungen betroffen sein. Neben der technischen Entwicklung bei Automobilen und Lastwagen (Strasse) und beim Rollmaterial (Schiene) müssen auch Sicherheit und Umweltfreundlichkeit kontinuierlich verbessert werden und zwar direkt oder indirekt über die Infrastruktur und den Energieverbrauch. Die Infrastruktur kann durch die bessere Integration bereits vorhandener Netzwerke und neuer Mobilitätsmuster (Strasse/Schiene – individuell/öffentlich) effizienter genutzt werden, ebenso durch die Reduktion von Belastungsspitzen (DSM) und durch neue Verkehrsleitsysteme, die In-vehicle- und Off-vehicle-Informationen übermitteln. Eine besondere Herausforderung stellt die Reduktion von CO₂-Emissionen beim Überland-, Luft- und Seeverkehr dar, wo eine Elektrifizierung in den nächsten Jahrzehnten wenig realistisch scheint.

Auf Seite der Primärenergie kann die grosse Abhängigkeit von fossilen Energieträgern erstens durch synthetische und erneuerbare Brennstoffe und zweitens durch die Förderung der Elektrifizierung verringert werden, einschliesslich der Rückverstromung von Wasserstoff über stationäre Brennstoffzellen für die Traktion in Brennstoffzellenautos. Was die neuen Brennstoffe angeht, muss parallel zu ihrer Förderung eine ausreichende Infrastruktur zur Betankung bereitgestellt werden. Die breite Einführung der Elektromobilität andererseits stellt für die Industrie und weitere Akteure ohne Zweifel eine der grössten Herausforderungen dar: Eine ausreichend grosse Stromproduktion aus erneuerbaren Energieträgern und mithin eine massive Dekarbonisierung des Elektrizitätsbereichs ist Voraussetzung dafür, dass trotz wachsender Stromnachfrage eine rasche Emissionsreduktion und zudem eine Verringerung der Abhängigkeit von Energieimporten erreicht werden können²¹. Batterien, Brennstoffzellen und Wasserstoff

vereint mit intelligenten Netzen können die Vorteile der Elektromobilität um ein Mehrfaches vergrössern, sei es in Bezug auf die Dekarbonisierung des Verkehrs oder bei der Entwicklung erneuerbarer Energiequellen.

Wie im Energiebereich werden auch im Verkehrsbereich enorme strukturelle Veränderungen zu einer stärkeren IKT-Durchdringung führen. Auch hier wird die IKT als ermöglichende Technologie dazu beitragen, die mit dieser Entwicklung verbundenen Herausforderungen zu meistern.

Herausforderungen und Chancen

Die oben erwähnten Herausforderungen bedingen Änderungen in Struktur, Betrieb und Management des zukünftigen Energie- und Verkehrssystems, die nur unter der Voraussetzung massiver technischer Entwicklungen erfolgen können. Der Weg zu einem nachhaltigen Energie- und Verkehrswesen führt über neue bahnbrechende Technologien und deren rechtzeitige Nutzung und Markteinführung. Die im Folgenden aufgeführten Schwerpunktthemen beinhalten in diesem Sinne sowohl Herausforderungen als auch Chancen.

Herausforderungen

- Effiziente und erschwingliche Speicherung, insbesondere dezentrale Speicherung von fluktuierender erneuerbarer elektrischer Energie aus erneuerbaren Quellen in Form von Elektrolyse, Umwandlung von Strom in Gas mittels Co-Elektrolyse von CO₂ und Wasser, Hochenergiewärme und solare Brennstoffe
- Rückverstromung von Wasserstoff mittels stationärer Brennstoffzellen für den Antrieb von Brennstoffzellenautos und -lastwagen; Erstellung einer Wasserstoffbetankungsinfrastruktur
- Auslegung von komplexen Energienetzwerken und Sicherstellen ihrer betrieblichen Kontrolle; dazu gehören Erdgas/Biogas, Niedrigtemperaturheiznetze, Stromversorgung und -verteilung sowie Energiehubs, die verschiedene Energieträger in ein gemeinsames System integrieren

- Entwicklung neuartiger Werkstoffe für die Speicherung und Umwandlung von Energie für verschiedene Temperaturbereiche
- Antriebstechnologien mit niedrigem CO₂-Ausstoss für Ferntransporte auf der Strasse (Überlandtrucks), in der Luft und auf dem Meer
- Intelligentes Management von dezentral produzierter Energie, inklusive nach dem Power-on-Demand-Prinzip (Strom nach Bedarf) sowie *Kraft-Wärme-Kopplung* und *Kraft-Wärme-Kälte-Kopplung* in verschiedenen Massstäben und Grössen der Anwendung
- Umgang mit riesigen Datenmengen sowohl auf der Nachfrage- als auf der Anbieterseite unter Berücksichtigung spezifischer Aspekte von Privatsphäre, Datenschutz, Datensicherheit und Robustheit.
- Signifikante Erhöhung der Erneuerungsrate von Gebäuden (aktuell 1 Prozent)
- Anpassung des Gebäudeparks an heutige und zukünftige Bedürfnisse der Gesellschaft, die älter und vernetzter wird und fortlaufend steigende Ansprüche an die Wohnqualität stellt.
- Gewinnung und Handhabung von Smart Data, neue Handelsformen und -systeme für Energieprodukte, neue Formen der Vertragsgestaltung und Energiedienstleistungen rund um die neuen Technologien, insbesondere:
- Entwicklung von Verfahren und Technologien in der ganzen Kette der Gewinnung und Konversion von Energie aus erneuerbaren chemischen Energieträgern, einschliesslich massgeschneiderter katalytischer Prozesse
- Smart-Grid-Meter für Hochqualitätsmessungen, mit hoher zeitlicher und örtlicher Auflösung für eine dynamische Stromtarif- und Preisgestaltung sowie effizientes Last- und Nachfragemanagement und optimale Netznutzung
- Smart-Grid-Aktoren inklusive dezentralisierter Energiespeichertechnologien, zum Beispiel um sehr schnelle Zusatzdienstleistungen zu ermöglichen, Invertoren für Windturbinen- und Photovoltaik-Anlagen, die die Erzeugung von überschüssiger Energie einschränken, und sogenannte *FACTS*-Geräte zur Regelung von Leistungsflüssen

Chancen

Das Ausschöpfen des technologischen Potenzials und der Produktentwicklung wird zur Ausbildung neuer Märkte im Bereich von Energie und Verkehr führen. Die Schweiz sollte hier aufgrund ihrer Industrietradition und ihres Humanpotenzials entscheidende Vorteile auspielen können:

- Mikro- und Nanotechnologie für die Entwicklung neuer Materialien und Anwendungen der Oberflächenwissenschaften
- Fortschrittliche Sensoren, *Aktoren* und Präzisionsinstrumente für die Diagnostik, Überwachung und Kontrolle von komplexen Systemen wie Strom- und Verkehrsnetzen
- Bauteile, Geräte und Anlagen für das reibungslose Funktionieren von Smart Buildings und Smart Cities für die Energiegewinnung auf Verteilerebene.
- Entwicklung neuer, preisgünstiger Hochisolationsmaterialien für die energetische Sanierung bestehender Gebäude.
- Entwicklung von lokalen Multienergiezentren für Wärme, Kälte, Strom und Gas, um lokal gewonnene erneuerbare Energien auch lokal nutzen zu können.

Prioritäten für die Schweizer Industrie und Forschung

Um die Prioritäten für die akademische und industrielle Forschung festzulegen, wird im Wesentlichen eine Abwägung der oben beschriebenen Chancen und Risiken vorzunehmen sein. Neue Formen der Projektzusammenarbeit und ein intensiverer Austausch zwischen den verschiedenen Akteuren – den Forschern und Entwicklern auf der einen und den Nutzern, der Industrie und den Behörden auf der anderen Seite – sind die Grundvoraussetzung dafür, das schweizerische Innovationspotenzial voll auszuschöpfen. Es liegt auf der Hand, dass die IKT-Durchdringung (und der Trend in Richtung IoT) die zukünftige Ausgestaltung des Energie- und Verkehrssystems massgeblich bestimmen werden. Wie in anderen Bereichen geht auch hier das mit dieser Entwicklung verbundene riesige Potenzial der Betriebs- und Effizienzoptimierung gleichzeitig mit grossen Herausforderungen im Bereich Netz- und Informationssicherheit einher, das heisst mit Problemen wie der ausreichenden Verlässlichkeit der verwendeten Kommunikationssysteme (Internet und Mobilfunknetze), der Gewährleistung des Datenschutzes, dem Schutz gegen feindliche Angriffe sowie dem Big-Data-Management und der allgemeinen gesellschaftlichen Akzeptanz.

Die für die notwendige Entwicklung und Implementierung solcher Zukunftstechnologien notwendige Zeitspanne bemisst sich eher in Jahrzehnten als in Jahren. Aus diesem Grund wird eine der allerwichtigsten Voraussetzung für den Erfolg hier eine langfristige Forschungsplanung sein.

Zusätzlich zu reinen Forschungs- und Entwicklungsaktivitäten (F&E) müssen Transfermechanismen geschaffen werden, um Forschungsergebnisse effizienter in die industrielle Produktentwicklung einfließen zu lassen. Dazu sollten im Bereich der Ausbildung die nötigen Anstrengungen unternommen werden, um einer nächsten Generation von «Wissensagenten» das notwendige ausgeprägte Systemdenken und Fertigkeiten für den effizienten Umgang mit Komplexität zu vermitteln.

Erwartete Auswirkungen

Sofern erfolgreich, hat eine solche Investitionsanstrengung in die F&E im Bereich Energie und Verkehr das Potenzial, die Wettbewerbsfähigkeit der Schweizer Exportindustrie – und zwar sowohl ihrer bereits etablierten, wie auch ihrer aufstrebenden Branchen – in einem rapid wachsenden Markt von globaler Bedeutung signifikant zu stärken. Der geschätzte weltweite Handelsumsatz im Endenergiebereich entspricht einer Billion Schweizer Franken mit einer Wachstumsprojektion von 50 Prozent bis 2030 sowie einer Verdopplung bis 2050, dem Zeitpunkt, an dem die Abkehr des globalen Energiesystems von fossilen Energieträgern erwartet wird. Auch im Verkehrsbereich stehen riesige Investitionen an für den Ausbau und die Modernisierung der Infrastrukturen sowie die Modernisierung von Autos, Lastwagen und Rollmaterial, die effizienter und autonomer werden müssen. Zusammenfassend lässt sich sagen, dass sich hier kurz- und mittelfristig enorme Chancen bieten, die sich die exportorientierte Industrie (und der Finanzsektor) des Landes nicht entgehen lassen sollten.

Obwohl disruptive Technologien in dieser Entwicklung eine wichtige Rolle spielen, sollte der grosse Einfluss nicht unterschätzt werden, den politische Rahmenbedingungen, regulatorische Massnahmen und Standards auf die Entwicklung von zukünftigen Technologien haben und insbesondere darauf, dringend notwendige Investitionen anzulocken.

Massnahmen und Empfehlungen

Aufgrund der obigen Ausführungen empfehlen wir politischen Entscheidungstragenden:

- Ein **Anreizsystem** auf Ebene der Politik für die Realisierung von «**Pilot- und Demonstrationsanlagen**» unter Marktbedingungen im Bereich neuer technischer Anwendungen. Erforderlich ist zudem ein Grundverständnis für die Notwendigkeit einer verlässlichen Finanzierung von Forschungsprojekten und zwar sowohl kurzfristig (1 bis 3 Jahre) für die umsatznahe Produk-

teentwicklung, mittelfristig (3 bis 8 Jahre) für Forschungsk Kooperationen zwischen Hochschulen und Industrie sowie langfristig (über 10 Jahre) für die Grundlagenforschung.

- **Bundesstellen** (zum Beispiel ElCom, BFE, BAV) und **Trägerorganisationen** mit spezifischen Aufgaben (zum Beispiel ENTSO-E/G, UIC, ISO) müssen in die Lage versetzt werden, mit der **wachsenden IKT-Durchdringung** und den damit verbundenen Cyber-Risiken **umzugehen**.
- Bereitstellung eines besseren und umfassenderen **Kontrollsystems** zur Überwachung der Fortschritte bei der angestrebten Transformation des Energiesystems, in enger Zusammenarbeit mit dem F&E-Bereich führender Schweizer Industrieunternehmen.
- Konsolidierung, Ausarbeitung und Finanzierung eines langfristig angelegten Nationalen Forschungsprogramms («**Roadmap**») **Energie und Verkehr**, das auf die enge Zusammenarbeit zwischen Hochschul- und Industrieforschung setzt.

Dekarbonisierung

Bezeichnet die Umstellung der Wirtschaftsweise in Richtung eines niedrigeren Umsatzes von Kohlenstoff. Dabei werden Handlungen und Prozesse, durch die Kohlenstoffdioxid (CO₂) freigesetzt wird, durch Prozesse substituiert, bei denen diese Freisetzung unterbleibt oder kompensiert wird. Dekarbonisierung wird als Mittel für den Klimaschutz angesehen. Ziel ist die CO₂-Neutralität der Wirtschaft.

Demand Side Management (DSM)

Die Einflussnahme durch den Energieversorger beziehungsweise Dritte auf die Energienachfrage in Haushalten oder Industrie, um die Energiemenge oder den Zeitpunkt des Energiekonsums zu steuern. Das elektrizitätswirtschaftliche Paradigma, dass sich das Leistungsangebot nach der Nachfrage richtet, wird hiermit aufgeweicht.

Quelle: <http://wirtschaftslexikon.gabler.de/Definition/demand-side-management-dsm.html>

Cyberattacke

Ein elektronischer Angriff, der über eine Netzwerkverbindung erfolgt. Der Angriff findet ausschließlich im virtuellen Cyber-Raum statt und richtet sich gegen einzelne Computer oder ganze IT-Systeme. Ziel der Angreifer ist es, die Sicherheitsbarrieren der Systeme zu durchbrechen, um Schadsoftware zu platzieren oder Daten auszuspionieren. Cyberattacken sind also virtuelle Angriffe mit realen Auswirkungen.

(N-1)-Konzept

Spiegelt den Sicherheitszustand eines Systems wider und bedingt, dass das Stromversorgungssystem den Ausfall einer systemrelevanten Komponente (zum Beispiel Fertigungseinheit, Transformator, Sammelleiter) über eine bestimmte Zeit aushalten kann.

Kraft-Wärme-Kopplung

Kraft-Wärme-Kopplung ist die gleichzeitige Gewinnung von mechanischer Energie, die in der Regel unmittelbar in elektrischen Strom umgewandelt wird, und nutzbarer Wärme für Heizzwecke (Fernwärme oder Nahwärme) oder für Produktionsprozesse (Prozesswärme) in einem Blockheizkraftwerk. Die Abgabe von ungenutzter Abwärme an die Umgebung wird dabei weitestgehend vermieden.

Quelle: <http://de.wikipedia.org/wiki/Kraft-W%C3%A4rme-Kopplung>

Kraft-Wärme-Kälte-Kopplung

Eine Erweiterung der Kraft-Wärme-Kopplung: Die von einem Blockheizkraftwerk, einer thermischen Solaranlage oder einer Geothermieanlage erzeugte Wärme, wird zum Betrieb einer Kältemaschine für Kühlzwecke genutzt.

Quelle: <http://de.wikipedia.org/wiki/Kraft-W%C3%A4rme-K%C3%A4lte-Kopplung>

Aktoren

Bezeichnet in der Steuer- und Regelungstechnik das Gegenstück zu einem Sensor. Aktoren setzen Signale einer Regelung in (meist) mechanische Arbeit, das heisst Bewegung, um, wie zum Beispiel das Öffnen und Schliessen eines Ventils. Allgemein beschreibt ein Aktor ein Element, das eine Eingangsgrösse in eine andersartige Ausgangsgrösse umwandelt.

Quelle: <http://www.gabel-meca.de/de/glossar/category/>

Flexible Wechselstromübertragungsgeräte (FACTS)

Oberbegriff für eine Reihe von Technologien (Englisch Flexible Alternating Current Transmission System), welche die Kapazität von bestehenden Wechselstromübertragungsleitungen signifikant erhöhen und gleichzeitig die Stabilität und Zuverlässigkeit des Netzes verbessern.

Quelle: http://en.wikipedia.org/wiki/Flexible_AC_transmission_system



Produktionstechnik und Fertigungsverfahren

Ausgangslage

Differenzierung durch Automatisierung, Flexibilität und Qualität gilt als der zentrale Baustein für die Erhaltung der industriellen Wettbewerbsfähigkeit in Hochlohnländern. Als Kernkompetenz steht dahinter die Beherrschung der Fertigungstechnologien²². Die produzierenden KMU in der Schweiz profitieren von ihrer historischen Stärke in der Fertigungstechnik. Die Wahl der richtigen Fertigungstechnologien und ein tiefgehendes Prozessverständnis ermöglicht es ihnen, Prozesse optimal zu nutzen und wettbewerbsfähige Produkte von höchster Qualität und Präzision zu produzieren.

Die Produktionstechnik an sich unterliegt einem steten Wandel. Vorhandene Verfahren werden weiterentwickelt und die Effizienz der Produktion und die Qualität der Produkte dadurch verbessert. Neben dieser kontinuierlichen Entwicklung gelangen auch immer wieder neue Werkstoffe und Fertigungsverfahren zu industrieller Reife. Sie bieten Unternehmen neue Möglichkeiten; zum wirtschaftlichen Erfolg führen sie jedoch erst, wenn ihre Vorteile erkannt und erfolgreich in Serienprodukten eingesetzt werden können. Diese Entwicklung wirkt sich auch auf bestehende Fertigungsverfahren aus, da sich die Bedeutung der einzelnen Verfahren verschiebt. Einige werden stärker nachgefragt, andere nach und nach

substituiert. Ein Beispiel ist die stärkere Verwendung von Faserverbundwerkstoffen in der Luftfahrt: Durch diese neuen Werkstoffe hat Kleben als Füge-technik an Bedeutung gewonnen, während Nietverbindungen verdrängt werden.

Das Auftreten und Verschwinden von Fertigungstechnologien bedeutet für Unternehmen Risiko und Chance zugleich. Um dauerhaft wettbewerbsfähig zu bleiben, ist es wichtig, neue Technologien rechtzeitig zu erkennen, zu beurteilen und entsprechend zu reagieren. Große Unternehmen haben hierfür Stabsstellen und Abteilungen für Technology Scouting, die die F&E-Landschaft kontinuierlich beobachten und die Eignung neuer Technologien für das Unternehmen mithilfe von Pilotprojekten und Machbarkeitsstudien überprüfen können. KMU hingegen fehlen hierzu meist die Ressourcen.

Herausforderungen und Chancen

Digitale Fertigung (Industrie 4.0)

Das Schlagwort «Industrie 4.0» bezeichnet die vollständige Durchdringung von Industrie, Produkten und Dienstleistungen mit Software und die Vernetzung von Produkten und Dienstleistungen²³. Die Bedeutung dieses Trends für die Hard- und Softwareentwicklung wird

in Kapitel «Informations- und Kommunikationstechnologien (IKT)» ab Seite 52 behandelt. Die Vernetzung hat aber auch tiefgreifende Auswirkungen auf die Produktentwicklung und die Fertigung von Konsum- und Industriegütern.

Moderne Produktentwicklung und die dazugehörige Produktionsplanung erfolgen bereits heute weitgehend virtuell. Die hierfür verwendeten Programme sind häufig innerhalb einer Branche parallel zu den Möglichkeiten der verwendeten Technologien und den Anforderungen der Anwendungen gewachsen. Diese Spezialisierung stellt bei der Vernetzung von unterschiedlichen Prozessschritten und verschiedenen Branchen ein Hindernis dar. Zu seiner Überwindung ist die erfolgreiche interdisziplinäre Zusammenarbeit von industriellen Anwendern, Maschinenherstellern und IKT-Unternehmen unumgänglich; sie ermöglicht den beteiligten Unternehmen gleichzeitig, die Innovationsführerschaft in ihrem Bereich zu übernehmen²⁴.

Für die reinen Anwender in den produzierenden Unternehmen besteht die Herausforderung darin, ihre Organisation und Arbeitsweise an die Veränderungen anzupassen, die die Vernetzung mit sich bringt. Durch die Verknüpfung der virtuellen mit der realen Welt entstehen cyber-physische Systeme, die sich weitgehend eigenständig und autonom regeln, konfigurieren und optimieren. Daraus ergeben sich ein Automatisierungspotenzial und eine Flexibilität, die neue Wertschöpfungsketten ermöglichen, gleichzeitig aber auch eine hohe finanzielle und personelle Anfangsinvestition erfordern²⁵. Hier liegt für Unternehmen das Risiko, da die Technologie einem dynamischen Wandel unterworfen ist und aktuelle Lösungen schnell veralten können. Gleichzeitig gilt es zu bedenken, dass ein verspäteter Einstieg zu einem technologischen Rückstand führen kann, der nur schwer aufzuholen ist²⁶.

Additive Fertigung

Additive Fertigung ist ein Oberbegriff für alle Fertigungstechnologien, bei denen Bauteile durch das Aneinanderfügen von Material schichtweise aufgebaut werden. Diese Prozesse erfordern kein individuelles Werkzeug und lediglich ein dreidimensionales, digitales

Modell des Bauteils²⁷. Die Bandbreite der Verfahren reicht von der Aushärtung von Photopolymeren, über das Verfestigen von Pulvern durch das Aufsprühen von Klebstoff, bis zum Verschweissen von Metallpulver mit einem Laserstrahl. Allen Verfahren gemeinsam ist, dass die Bauteilkomplexität nur einen geringen Einfluss auf die Fertigungskosten hat. Durch die werkzeuglose Fertigung wird zum einen die Produktion von Einzelteilen und Kleinserien zu wirtschaftlichen Preisen möglich, zum anderen können Strukturen, Geometrien und Werkstoffe realisiert werden, die sich mit keinem anderen Verfahren herstellen lassen.

Anders als bei konventionellen Fertigungsverfahren wie Fräsen sind bei der additiven Fertigung die Fertigungskosten im Wesentlichen durch das Volumen und die Höhe der Bauteile bestimmt und unabhängig von ihrer Komplexität. Dieser grundlegende Unterschied in der Struktur der Fertigungskosten schlägt sich auch bei der Produktgestaltung nieder. Da die Einschränkungen durch das Fertigungsverfahren geringer sind, kann die Konstruktion stärker auf die optimal funktionsgerechte Form ausgerichtet werden. So breit wie das Spektrum der additiven Fertigungsverfahren ist, so vielfältig sind auch die möglichen Anwendungen. Die Werkstoffe, die verarbeitet werden, reichen von Nickelbasislegierungen für Turbinenteile²⁸ über Kunststoffe²⁹ und Keramik³⁰ bis zu lebenden Zellen für den Nachbau von Gewebe³¹.

Durch die Vielseitigkeit der additiven Fertigung hinsichtlich der Prozesse, Materialien und Gestaltungsmöglichkeiten ergeben sich in der Produktentwicklung neue Wege, die zu komplett neuartigen Lösungen führen. Wenn Unternehmen diese Chance rechtzeitig erkennen, können sie hier neue Geschäftsmodelle entwickeln. Dies erfordert allerdings, dass sie sich mit diesen Verfahren auseinandersetzen. Auch hier bestehen grosse Hürden für KMU, weil es spezifisches Know-how in Bezug auf Verfahren und Materialien voraussetzt, die Potenziale der additiven Fertigung im Kontext der eigenen Produkte zu erkennen. Dieses Wissen ist in KMU meist nicht vorhanden, dazu kommt, dass der Einstieg in diese Technologien mit grossen Investitionen verbunden ist.

Fortgeschrittene Robotik

Der Einsatz von Robotern ist seit Jahrzehnten ein wichtiger Baustein in der Automation von industriellen Fertigungsprozessen. Roboter übernehmen hierbei vor allem wiederkehrende, monotone Aufgaben und solche, die für den Menschen körperlich anstrengend oder gefährlich sind. Traditionell sind solche Systeme positionsgeregelt und sehr steif, um eine ausreichende Genauigkeit zu gewährleisten. Dies erfordert eine abgeschlossene Umgebung, da die Roboter durch ihre begrenzte Sensorik und Programmierung nur unzureichend auf unstrukturierte Umgebungen reagieren können. Ein autonomes Agieren eines Roboters in einem Umfeld, das ihm nicht vorab bekannt ist oder in dem sich Menschen frei bewegen, ist mit bisherigen Systemen nicht möglich³².

Aus den aktuellen Entwicklungen in den Bereichen Aktoren, Robot Control Software und der Sensorintegration ergeben sich drei Trends, die sich in ersten kommerziellen Anwendungen bereits wiederfinden:

- **Roboter**, die nach wie vor mechanisch steif sind, aber durch eine nachgiebige Regelung das mechanische Risiko für ihre Umgebung reduzieren. Eine weitere Entwicklungsstufe sind weiche Roboter, das heißt Roboter, die mechanisch nachgiebig sind, und so noch besser in unstrukturierten Umgebungen operieren können.
- **Mikro- und Nanoroboter**, die autonom oder von aussen gesteuert Manipulationen an Objekten im Mikro- und Nanobereich vornehmen können.
- **Robotersysteme**, die sich geringer Investitionskosten und einfacher Handhabung wegen für den Consumerbereich eignen.

In der Industrie ermöglichen intelligente und flexible Roboter eine direkte Zusammenarbeit von Mensch und Maschine, beispielsweise in der Montage. Autonome Systeme werden in die Lage versetzt, Material und Werkzeuge in unwegsames Gelände zu transportieren, ohne dass der Weg vorgängig bekannt ist³³. Die Medizintechnik profitiert be-

reits heute von Operationsrobotern, die viel präziser arbeiten als der Mensch. In absehbarer Zukunft ersetzen intelligente Prothesen und Exoskelette die Funktion menschlicher Extremitäten. Für Nanoroboter bietet sich im Bereich der therapeutischen Massnahmen ein breites Feld von Anwendungen³⁴.

Einfache Roboter, die einzelne Aufgaben wie Rasenmähen oder Staubsaugen übernehmen, sind für private Endkunden bereits erhältlich. Hier entsteht ein Markt für Serviceroboter in Privathaushalten, die immer komplexere Aufgaben ausführen können. Die Weiterentwicklung des adaptiven Verhaltens wird mittelfristig zu Robotern führen, die hilfsbedürftige Menschen unterstützen können³⁵. Von der Sensorintegration und der Entwicklung komplexer Entscheidungsalgorithmen profitiert auch der Transportbereich, wo sie die Grundlage für selbstfahrende Automobile und Drohnen bilden.

Die Entwicklung dieser neuartigen Roboter setzt eine enge Verknüpfung unterschiedlicher naturwissenschaftlicher Disziplinen voraus. Die Entwicklung von Sensoren, Maschinenelementen³⁶, Algorithmen und ihre Integration in ein funktionierendes Gesamtsystem erfordert eine ganzheitliche Vorgehensweise. Das so gewonnene Wissen lässt sich auf viele andere Anwendungen übertragen.

Neue Materialien

Die Entwicklung von neuen Materialien ist eine wissenschaftliche und industrielle Herausforderung, da nicht nur ein neuer Werkstoff, sondern auch ein entsprechender industriereifer Herstellungsprozess und Weiterverarbeitungsprozesse sowie Maschinen für Herstellung und Prozesskontrolle entwickelt werden müssen. Neben materialwissenschaftlichen und fertigungstechnischen Aspekten müssen für neue Materialien zudem Anwendungen gefunden und erste Produkte entwickelt werden. Aktuelle Entwicklungstrends für neue Materialien in den Bereichen Nanotechnologie³⁷, Smart Materials und Biotechnologie spiegeln diese Interdisziplinarität wieder. Wie die neuartigen Werkstoffe für die additive Fertigung weisen diese Materialien unterschiedliche Reifegrade auf.

Nanopartikel und nanostrukturierte Oberflächenbeschichtungen werden in der Schweizer Industrie bereits erfolgreich eingesetzt. Durch ihre geringe Grösse und die grosse Teilchenoberfläche im Verhältnis zum Volumen weisen Nanomaterialien teilweise ganz andere Eigenschaften auf als makroskopische Körper, die aus dem gleichen Werkstoff gefertigt sind. Neben der Entwicklung neuer Nanomaterialien und dem Verständnis der veränderten Eigenschaften ist vor allem die Sicherheit bei der Herstellung, Verwendung und Entsorgung Gegenstand der aktuellen Forschungs- und Entwicklungsaktivitäten³⁸.

Smart Materials oder intelligente Werkstoffe sind Materialien, die in einer gewünschten Form auf ihre Umgebung und auf Belastung reagieren und so als Sensoren, Aktoren oder selbstregelnde Elemente dienen können. Das Konzept ist nicht neu³⁹ und ist bei einigen Materialien, wie beispielsweise bei *Piezo-Kristallen*, bereits zu hoher industrieller Reife gelangt. Andere Ansätze für Smart Materials, wie die Realisierung von Schaltkreisen⁴⁰ im Nanometerbereich oder von Werkstoffen mit integrierten Sensoren⁴¹, befinden sich auf dem Weg von der Grundlagenforschung zur Anwendungsentwicklung. Es ist daher davon auszugehen, dass die Verwendung von intelligenten Materialien weiter zunehmen und ihre Relevanz für die Industrie durch die fortschreitende Vernetzung von Systemen weiter verstärkt wird.

Biomaterialien sind synthetische Werkstoffe, die eine biologische Funktion erfüllen und dabei weder die biologische Umgebung schädigen, noch durch diese Schaden nehmen. Die Entwicklung ist stark von Interdisziplinarität geprägt und erfordert unter anderem die Zusammenarbeit von Materialwissenschaften, Biologie, Chemie, Medizin und Ingenieurwissenschaften⁴². Neben naturwissenschaftlichen und technischen Herausforderungen stellen auch die Erprobung in klinischen Studien und die Zulassung eine Hürde für die Einführung von neuen Biomaterialien dar.

In den bisher beschriebenen Beispielen erfolgt die Material- und Prozessentwicklung weitgehend parallel. Es besteht aber auch die Möglichkeit, dass die Materialentwicklung durch einen neuen Prozess ausgelöst wird. So werden gewisse neue Legierungen und Materialmischungen erst durch den Herstellungsprozess der additiven Fertigung, mit ihrem kleinen Schmelzbad und den hohen Aufheiz- und Abkühlgeschwindigkeiten, möglich.

Prioritäten für die Schweizer Industrie und Forschung

Damit die Schweiz in der Qualitätsfertigung weiterhin Weltspitze bleibt, müssen die Schweizer Industrie und Forschung neue Fertigungstechnologien beherrschen.

Industrie 4.0

- Stärkere Vernetzung von IT und Maschinenbau, sowohl im Entwicklungsbereich als auch in der Produktion
- Moderne Prozesse der Produktentwicklung bedingen für die erfolgreiche Lancierung neuer Produkte ein begleitendes Angebot an Dienstleistungen und die Einbindung in Gesamtsysteme
- Schaffung von Modellfabriken für die Forschung, Entwicklung und Erprobung von Industrie-4.0-Konzepten, um die Einstiegshürden für Firmen zu senken

Additive Fertigung

- Einstieg in die additive Technologie auf Hersteller-ebene mit Fokus auf die Anforderungen und die Kernkompetenzen der Schweizer Industrie, insbesondere in Hinsicht auf Qualität, Präzision und Automatisierungsgrad
- Schaffung einer Plattform für den vorwettbewerblichen Technologietransfer in einem herstellerunabhängigen Anwendungslabor
- Auf- und Ausbau der Grundlagenforschung für neue Materialien und die zugehörigen AM-Prozesse (Akzeptanzmodul)

Fortgeschrittene Robotik

- Förderung der Vernetzung von Elektrotechnik, Regelungstechnik, Computerwissenschaften und Maschinenbau
- Integration von Robotern in cyber-physische Systeme für industrielle/private Einsatzgebiete (Smart Home)
- Erforschung und Entwicklung von Steuerungselementen mit mechanischen, elektrischen und elektronischen Bestandteilen

Neue Materialien

- Entwicklung neuer Materialien nicht nur im Bereich der Grundlagenforschung, sondern als übergreifender Prozess bis zur industriereifen Produktion und zu fertigen Produkten für Endkunden
- Chancen für die Materialentwicklung durch neue Fertigungsverfahren
- Durch die kontinuierliche Beobachtung und Analyse neuer Prozesse können Unternehmen die Wahrnehmung neuer Chancen für Materialentwicklungen sicherstellen
- Entwicklung von Metamaterialien, deren Eigenschaften sich auf die spezifische Anwendung abstimmen lassen

Erwartete Auswirkungen

Fertigungsverfahren sind die Grundlage für erfolgreiche Produkte und damit für die Zukunftsfähigkeit von Unternehmen. Die neuen Möglichkeiten durch Industrie 4.0, additive Fertigung, fortgeschrittene Robotik und neue Materialien eröffnen ein weites Feld für Innovationen sowohl in der Produktion als auch in Bezug auf Produkte, Dienstleistungen und Systeme. Da diese Technologien grosse disruptive Veränderungen auslösen werden, ist es für die einzelnen Unternehmen und die Stärke des Industriestandorts Schweiz insgesamt wichtig, ihre Bedeutung rechtzeitig zu erkennen und Veränderungen aktiv mitzugestalten. Unternehmen, die sich nicht mit den neuen Verfahren beschäftigen oder die für sie relevanten Verfahren nur zögerlich in ihre eigenen Prozesse integrieren, werden den Anschluss an die zukünftige industrielle und gesellschaftliche Entwicklung verlieren.

Massnahmen und Empfehlungen

Für die Stärkung der Schweizer Industrie, insbesondere der KMU, ist es erforderlich, Unternehmen beim Monitoring und bei der Bewertung von neuen Technologien zu unterstützen. Die Bewertung in einem realistischen Umfeld erfordert oft die Entwicklung von Demonstratoren in Pilotprojekten. Solche Projekte binden Ressourcen und verursachen Kosten, ohne dass dabei zwangsläufig schon ein konkretes Produkt oder eine konkrete Anwendung realisiert wird. Zudem besteht immer auch die Möglichkeit, dass sich eine Technologie als für die Firma ungeeignet erweist. Obwohl ein solches Ergebnis kein Scheitern im Sinne des Pilotprojektes darstellt, ist es eine Investition, die sich auf Umsatz und Gewinn nicht positiv auswirkt. Pilotprojekte zu neuen Technologien sind daher für Firmen immer mit einem erheblichen Risiko verbunden.

Derartige Aktivitäten fallen bis heute in eine Lücke zwischen der vom SNF unterstützten Grundlagenforschung und der Produktentwicklung, für die mit der KTI-Projektförderung gute Fördermöglichkeiten bestehen. Angesichts des finanziellen Risikos von Technologiebewertungsprojekten und deren grosser Bedeutung für die Zukunftsfähigkeit der Schweizer Industrie sollte diese Förderlücke durch geeignete Unterstützungsprogramme geschlossen werden. Mögliche Schritte wären eine Ausweitung des KTI-Innovationsschecks auf Firmen, die bereits mit Forschungseinrichtungen zusammenarbeiten, und die Erhöhung auf einen Betrag, der für die Beurteilung einer neuen Technologie ausreicht. Die Schaffung von herstellerunabhängigen Technologiezentren für firmenspezifische Pilot- und Machbarkeitsstudien würde interessierten Firmen zudem eine neutrale Anlaufstelle für das Technologie-Scouting bieten.

Ergibt die Pilotstudie, dass eine Technologie das Potenzial hat, Produktion und Produkte zu verbessern, dann sollte das Unternehmen den Einstieg wagen. Das erfordert aber die Beschaffung einer neuen Infrastruktur, deren Integration in die bestehende Unternehmensstruktur und den Aufbau von Know-how durch die Weiterbildung der Mitarbeiter oder das Anwerben von Experten. Gerade für KMU stellen solche Investitionen eine grosse Barriere für einen Technologiewechsel dar. Auch hier, wie bei der Technologiebewertung, existieren bisher keine Fördermöglichkeiten, um den Firmen den risikoreichen Entscheid zu erleichtern. Ein künftiger Anreiz kann finanzieller Natur sein oder durch den gezielten Technologietransfer aus entsprechend ausgestatteten Technologiezentren und Forschungseinrichtungen erfolgen.

Piezo-Kristall

Ein Piezokristall ist ein Bauteil, dessen Funktionsprinzip den piezoelektrischen Effekt ausnutzt, das heisst die Beobachtung, dass bei Einwirkung einer mechanischen Kraft eine elektrische Spannung erzeugt oder durch Anlegen einer elektrischen Spannung eine mechanische Bewegung ausgeführt werden kann.

Quelle: http://cfn.physik.uni-saarland.de/Dokumente/Manuals/Piezoelektrischer_Effekt.pdf



Gesundheit

Ausgangslage

Vier gesellschaftliche Entwicklungen werden das Gesundheitssystem im kommenden Jahrzehnt massgeblich prägen:

- Der **demografische Wandel** führt zu einer starken Zunahme des Anteils an älteren Personen. Die Mehrheit der Bevölkerung in der Schweiz wird in den kommenden Jahren älter als 50 Jahre sein; die Gruppe der Betagten (über 80 Jahre alt) wird überproportional zunehmen.
- Bereits heute werden die **hohen Gesundheitskosten** kritisiert, die trotz öffentlichem Druck und politischer Intervention weiterhin überproportional steigen. Diese Entwicklung ist auf Dauer nicht tragbar und es wird deshalb eine der grössten Herausforderungen für das Gesundheitswesen sein, die Qualität der medizinischen Versorgung bei konstanten oder sogar sinkenden Kosten zu verbessern.
- Es findet ein **Wandel zu einer gesundheitsbewussten Gesellschaft** statt, deren Mitglieder auch in fortgeschrittenem Alter ein gutes körperliches Befinden anstreben und bereit sind, dafür etwas zu tun. Allerdings gibt es einen signifikanten Anteil an Menschen, die infolge des heutigen Lebensstils an typischen Zivilisationskrankheiten leiden. Hier sind Ärzte und Politiker gefordert, die Betroffenen zu mehr Eigenverantwortung und Eigenbeteiligung zu bewegen, damit die finanzielle Last für die Gesellschaft tragbar bleibt.
- Medizinische Versorgung wird zunehmend **partizipativ**, da die Patienten die volle Verantwortung nicht mehr an das medizinische Personal abtreten wollen; sie möchten informiert und involviert werden. Die Arbeit der Ärzte wird kritisch hinterfragt und mit Informationen aus dem Internet verglichen, was allerdings die Gefahr von hypochondrischen Selbstdiagnosen steigert. Aus Patienten werden somit vermehrt «Konsumenten» des Gesundheitswesens.

Diese vier grossflächigen Haupttrends werden weitreichende Konsequenzen für die Entwicklung und die Produkte des Gesundheitsbereichs haben:

- Traditionell ist die medizinische Versorgung auf Diagnose und Heilung ausgerichtet; in Zukunft wird die **Bedeutung von Prävention und Rehabilitation** steigen. Früherkennung von Krankheiten wird zu einem Bedürfnis werden, vor allem in Bezug auf neurodegenerative Beschwerden, für die sich momentan keine Heilungsmethoden abzeichnen. An Bedeutung gewinnen werden auch die extensive Rehabilitation und die dafür notwendigen, unterstützenden altersgerechten Assistenzsysteme, die trotz körperlichen Einschränkungen oder Behinderungen auch im hohen Alter ein unabhängiges und selbstbestimmtes Leben im eigenen Heim ermöglichen. Die Bedeutung der Palliativmedizin wird zunehmen mit dem Ziel, unheilbar kranken Menschen eine möglichst hohe Lebensqualität zu ermöglichen.
- **Big Data Analytics** wird zu einem wesentlichen Treiber im Gesundheitswesen werden und massgeblich beeinflussen, wie medizinische Daten erhoben und verarbeitet werden. Neben klinischen Applikationen wie Röntgenaufnahmen, Labordiagnostik oder genomischen Tests wird auch die konstante, mobile Abfrage des individuellen Gesundheitszustands eine grosse und wichtige Datenquelle darstellen.
- Die **angestrebte Kostenoptimierung** wird die wissenschaftliche und technische Entwicklung in der Gesundheitsbranche entscheidend beeinflussen. Dabei muss auch kritisch hinterfragt werden, welche Leistungen die Krankenkassen obligatorisch übernehmen sollen. Es ist heute klar, dass kostenoptimierte Lösungen komplexe und teure klinische Ansätze ohne kompromittierende Wirkung auf Effizienz, Qualität und Ergebnis ersetzen können. Ein Beispiel ist der Einsatz von patientenspezifischen Führungshilfen (zum Beispiel gemäss den spezifischen Bedürfnissen des Patienten vorgefertigte Schablonen, welche die exakte Führung des chirurgischen Instruments während einer Operation erlauben) in der orthopädischen Medizin, die vermehrt computerassistierte Navigationsverfahren verdrängen.

Herausforderungen und Chancen

Informationstechnologie im Gesundheitswesen

Der vermehrte Einsatz moderner Informationstechnologien wird zum Haupttreiber für disruptive Technologien im Gesundheitswesen. Der Wandel zu IT-basierter, elektronischer Patientenversorgung wird vor allem auf drei Gebieten stattfinden:

- **eHealth** beinhaltet alle Aspekte der Erhebung, Prozessierung und Verwaltung von persönlichen Gesundheitsdaten, die digital aufgenommen oder in eine digitale Form konvertiert wurden. Dazu zählen traditionelle Datenquellen wie das elektronische Patientendossier und das *PACS-System*, aber auch Daten aus genomischen Sequenzierungen und physiologischer Überwachung. Cloud-Dienstleistungen erlauben, solche Daten in Zukunft auch ausserhalb von medizinischen Institutionen zu sammeln und zu durchforsten. Akteure im Gesundheitswesen können demnach alle relevanten Patientendaten in einem zentralen System unabhängig von der Aufnahmequelle speichern und jederzeit von überallher darauf zugreifen, was zur Verbesserung der Gesundheitsvorsorge führen wird. Die Kehrseite der Medaille ist die Schwierigkeit, die Daten sicher zu transferieren und vor Missbrauch zu schützen, ein allgemeines Problem des **Cloud Computing**. Datenschutz in Bezug auf eHealth bedeutet auch, dass die gesammelten Daten nur bei Bedarf und nutzerorientiert mit dem Einverständnis des Patienten abgerufen werden. Missbrauchspotenzial besteht auch bei der – im Namen des wissenschaftlichen Erkenntnisgewinns durchgeführten – systematischen Analyse der Daten der gesamten Bevölkerung. Rechtliche Massnahmen genügen hier nicht, es braucht neue technische Lösungen analog zu den kryptographischen Technologien im Datentransfer. Erschwerend kommt hinzu, dass die gängige datenschützerische Massnahme der Anonymisierung hier nicht ausreicht, da die Identität einer Person auf Grund der genomischen Daten zweifelsfrei bestimmt werden kann.

Cloud Computing

Die bedarfsgesteuerte Bereitstellung von Datenverarbeitungsressourcen jeglicher Art (von Anwendungen bis hin zu Rechenzentren) über das Internet auf Basis einer nutzungsbezogenen Abrechnung.

- Unter **mHealth** werden Technologien zusammengefasst, die persönliche physiologische Daten mobil erheben und übertragen. Die aufzeichnenden Sensoren sollten idealerweise klein, unauffällig und tragbar sein. Die Datenübertragung sollte mit gewöhnlichen mobilen Geräten, zum Beispiel Smartphones geschehen, dabei können die Sensoren auch in das Übertragungsgerät eingebaut sein. Mit eHealth-Technologien werden die Daten im Anschluss gespeichert und verarbeitet. Obwohl solche Geräte bereits existieren, werden sie hauptsächlich eingesetzt, um den Aktivitäts- und Fitnesszustand des Benutzers zu ermitteln; eine weitergehende Anwendung im Gesundheitswesen fehlt momentan und wirft Fragen in Bezug auf die Datenqualität für medizinische Zwecke und regulatorische Aspekte auf. Es ist jedoch unbestritten, dass mHealth-Technologien bei der Überwachung von alleinstehenden, pflegebedürftigen Personen eine wichtige Rolle spielen können. Eine grössere Bedeutung könnte mHealth-Applikationen auch in der Labordiagnostik (Bestimmung des Glukosespiegels) und der Therapie (Insulinverabreichung) zukommen. Dies bedingt allerdings, dass die Handhabung dieser Geräte für Patienten intuitiv erlern- und anwendbar ist.
- Ein weiteres Markenzeichen der partizipativen Medizin ist die Entstehung von Patientenforen als Webplattformen. Bereits bestehenden Foren wie zum Beispiel «PatientsLikeMe»⁴³ bieten nicht nur Informationen und Unterstützung an, sondern fungieren auch als «Social Network», in dem sich Betroffene austauschen können. Die dahinter stehenden Geschäftsmodelle sind allerdings ethisch problematisch, da sie sich auf Werbung oder den Handel mit den Daten für Datamining stützen.

Personalisierte Medizin

Anpassung der Therapie an die individuellen Charakteristiken eines Patienten gehört zu den Grundprinzipien einer erfolgreichen Behandlung. Relativ kostengünstige genomische Analysen erlauben den Medizinern, einen Schritt weiter zu gehen und Patientengruppen zu identifizieren, die auf eine bestimmte Wirkstoffklasse ansprechen. Personalisierte Medizin beinhaltet allerdings nicht nur an den *Genotyp* angepasste Therapien, sondern beginnt bereits bei der Prävention und frühen Diagnose: Die Entdeckung von spezifischen und sensitiven Biomarkern und neu entstehende, auf spektroskopischen Prinzipien basierende diagnostische Geräte für Stoffwechselbestimmungen leisten hier einen wichtigen Beitrag. Anwendungen aus dem mHealth-Bereich ermöglichen es, Lebensgewohnheiten und Umweltfakto-

mHealth

Technologien, die persönliche physiologische Daten erheben und übertragen, werden als mHealth (mobile Health) bezeichnet. Dazu gehören die gelegentliche oder langfristige Messung von Vitalparametern wie Körpertemperatur, Herz- und Atmungsfrequenz oder Blutdruck, aber auch die Übertragung von komplexeren Werten, wie sie zum Beispiel durch Elektrokardiogramme (EKG), Elektroenzephalografien (EEG) oder Augeninnendruckmessungen erhoben werden.

ren in die personalisierte Behandlung einzubeziehen. Personalisierte Medizin zieht jedoch auch weitreichende, ethische Fragen nach sich⁴⁴.

Regenerative Medizin

Grosse Errungenschaften auf dem Gebiet der Immunsuppression haben der Organtransplantation zum Durchbruch verholfen. Allerdings ist die Verfügbarkeit von Spenderorganen aus praktischen und ethischen Gründen stark limitiert, was einen breiten Einsatz der Organtransplantation verunmöglicht. Tissue Engineering (Gewebezüchtung) könnte hier die Alternative sein; es hat sich allerdings während den letzten Jahren deutlich langsamer entwickelt als erwartet. Einige erfolgreiche Beispiele (die Erzeugung von funktionellen und individualisierten Scaffolds, das heisst biologische Trägermaterialien, mit 3D-Druckern oder die Kultivierung von zweidimensionalen Gewebestücken wie Haut) täuschen nicht über die Tatsache hinweg, dass das Tissue Engineering in naher Zukunft kein Haupttreiber der regenerativen Medizin sein wird.

Die Entwicklung von Implantaten hat in der Vergangenheit die regenerative Medizin dominiert. Ausser orthopädischen und vaskulären Implantaten und implantierbaren Herzgeräten wie Schrittmacher oder Klappen werden vermehrt auch neurale und sensorische Implantate (Cochleaimplantat und Hirnschrittmacher) eingesetzt. Technische Fortschritte zum Beispiel auf dem Gebiet des 3D-Druckens, die Entwicklung neuartiger Materialien und physiologische Simulationen werden diese Geräte entscheidend verbessern. Um das volle Potenzial der Implantate auszuschöpfen, müssen geeignete Sensoren und Aktoren entwickelt werden. Weiter muss das Problem der Energieversorgung innerhalb des Körpers gelöst werden und es muss gelingen, resorbierbare Materialien zu entwickeln, die eine lokale, gesteuerte Freisetzung von Wirkstoffen ermöglichen. Trotzdem werden praktikable Lösungen in einigen Bereichen, so etwa künstliche Herzen oder Retinas, trotz aller zu erwartenden Fortschritte weiter auf sich warten lassen.

Für die regenerative Medizin wird die Bedeutung der Rehabilitation zunehmen, die die natürliche Regenerationsfähigkeit des Körpers unterstützt. Ziel ist hier, mit neuen Geräten und geeigneten Trainingsumgebungen die Effizienz der traditionellen Physiotherapie zu steigern. Dazu braucht es Robotersysteme für die verbesserte Patientemobilisierung, Sensoren zur quantitativen Messung des Therapiefortschritts und IT-Anwendungen zur Erzeugung von virtuellen und realitätserweiternden Umgebungen für die Durchführung wiederholter Trainingseinheiten. Auch die Bedeutung von Computerspielen für die mentale Rehabilitation ist nicht zu unterschätzen, zumal sie dank tragbaren Geräten relativ problemlos in den Alltag integriert werden kann. Das Interesse, an der Entwicklung von Rehabilitationsumgebungen mitzuwirken, ist in der Schweiz sowohl bei Startup-Firmen als auch bei mittelgrossen Betrieben sehr gross. Somit könnte diese Branche in Zukunft für die Schweizer Industrie eine ähnliche Bedeutung erlangen wie die Herstellung von orthopädischen Hilfen.

Prioritäten für die Schweizer Industrie und Forschung

Eine der grossen Stärken des Schweizer Gesundheitsbereichs ist das Zusammenspiel und die Integration von Expertise aus diversen Produktionsbranchen. Diese Fähigkeit wird in Zukunft noch an Bedeutung gewinnen, gilt es doch, Technologien aus so unterschiedlichen Gebieten wie Bioinformatik, IKT, Mikro- und Nanotechnologie sowie Herstellungsverfahren und die Entwicklung von neuartigen, funktionellen Materialien erfolgreich auf das Gesundheitswesen zu übertragen. Ein bereits bestehendes Beispiel für eine solche Integration ist die Datenübertragung bei implantierbaren Herzschrittmachern; weitere Möglichkeiten eröffnen sich bei tragbaren Dialysegeräten und bei Materialien und Geräten, die Wirkstoffe freisetzen.

Der zunehmende Einsatz von IK-Techniken für die Entwicklung medizinischer Geräte verspricht äusserst anspruchsvoll zu werden, da zwei Entwicklungsgebiete mit diametral unterschiedlichen Traditionen und Anforderungen aufeinander treffen. Von zentraler Bedeutung wird insbesondere die Frage nach der Genehmigung von und der Haftbarkeit für Produkte.

Der regulatorische Zulassungsprozess von neuen Produkten im Gesundheitsbereich wird zu einem ernsthaften Problem für Startup-Firmen. So ist bereits heute eine deutliche Verlangsamung der Kommerzialisierung neuer Technologien zu beobachten, meist aufgrund von Geldmangel und fehlendem Expertenwissen. Es ist wichtig, Lösungen dafür auszuarbeiten, wie die durch zentrale Unterstützung die Belastung für kleine Firmen verringert werden kann.

Erwartete Auswirkungen

Die Schweiz ist auf Grund ihrer soliden akademischen Forschung und Entwicklung und wegen der gut etablierten Zusammenarbeit von Wissenschaft, Ingenieurwesen und Klinik für die kommenden Herausforderungen bestens gerüstet. Die neu entstehenden Märkte, so zum Beispiel im Bereich der IKT-assozierten Dienstleistungen im Gesundheitswesen, sind riesig und können das industrielle Wachstum in den entsprechenden Branchen positiv beeinflussen. Die Schweiz kann ausserdem auf ihre traditionellen Stärken auf dem Gebiet der Datenerhebung und -verwaltung bauen und so eine zentrale Funktion für Cloud-Anbieter von Patientendatenspeicherung übernehmen. Auch in traditionelleren Arbeitsbereichen ist die Schweiz gut positioniert, was ihr erlaubt, auch aufstrebenden Wirtschaftsmächten gegenüber kompetitiv zu bleiben – unter der Voraussetzung von herausragenden Leistungen im Bereich der Innovation, des angemessenen Patentschutzes und der erfolgreichen Integration neuer Technologien.

Massnahmen und Empfehlungen

Um eine unterstützende gesetzgebende Umgebung zu schaffen und das wirtschaftliche Potenzial voll auszunutzen, dürfen zwei Probleme nicht vernachlässigt werden:

- Regulatorische Anforderungen stellen heute einen signifikanten Kostenfaktor bei der Entwicklung und Bereitstellung von Lösungen im Gesundheitsbereich dar und sind zudem oft auch die Ursache für Verzögerungen bei der Marktentwicklung von Produkten. Das Fehlverhalten einzelner Akteure und ein steigendes Sicherheitsbedürfnis in der Bevölkerung führen tendenziell dazu, dass die regulatorischen Anforderungen weiter erhöht werden. Es ist daher zwingend notwendig, einen Kompromiss zu finden, der ein annehmbares Mass an Produktsicherheit erlaubt, ohne dass Transparenz und wirtschaftliche Tragbarkeit dabei zu kurz kommen.
- Es müssen alle notwendigen Anstrengungen unternommen werden, um bezüglich des Zugangs zu teuren Leistungen im Gesundheitswesen einen gesellschaftlichen Konsens zu finden. Es kann nicht sein, dass solche sensiblen und weitreichenden Entscheidungen durch einzelne Instanzen gefällt werden, die die Problematik nur aus einem sehr begrenzten Blickwinkel betrachten.

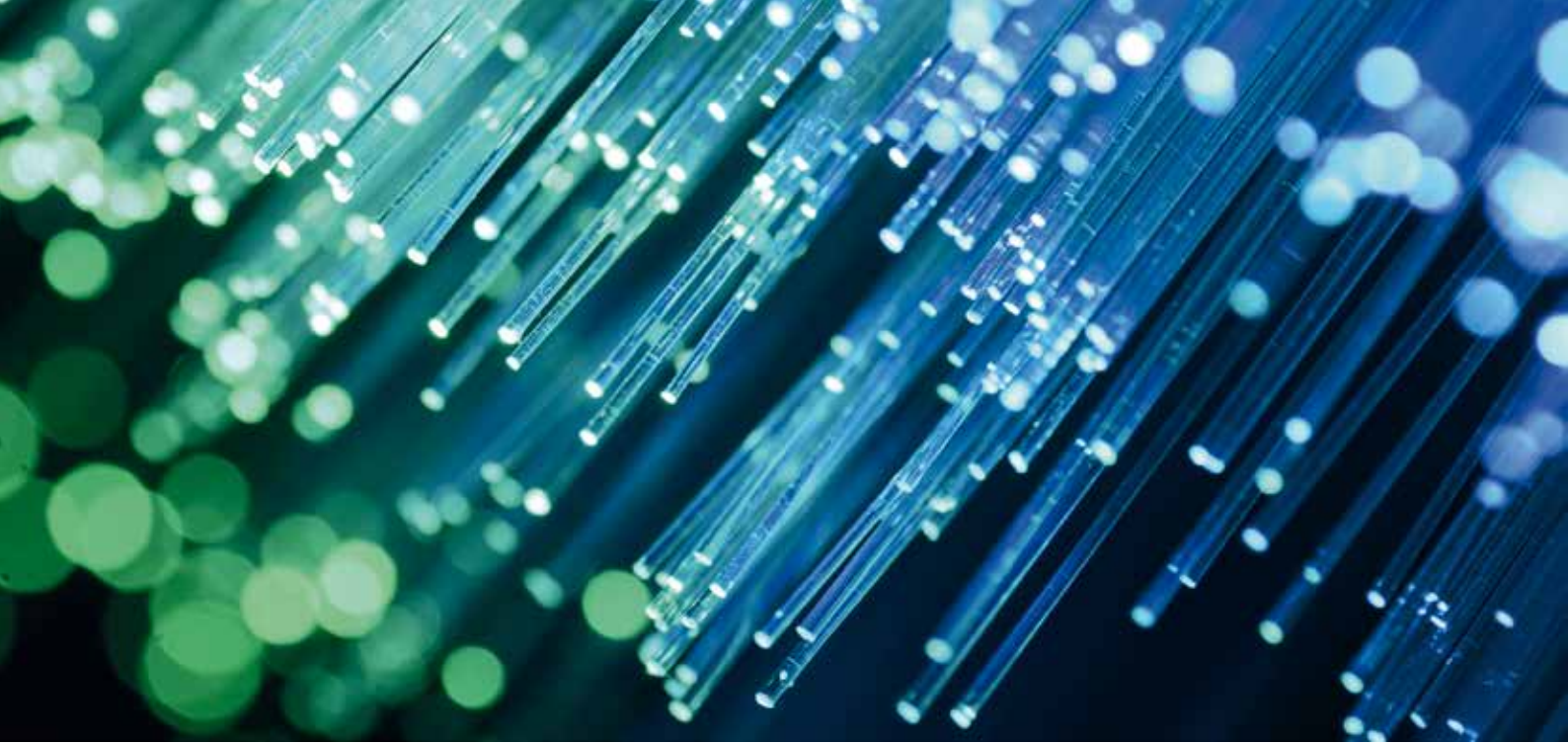
PACS-System

Ein PACS ist ein digitales System zur Verarbeitung, Verwaltung und Archivierung von medizinischen Bildern und Daten (von Englisch Picture Archiving and Communication System), dessen Entwicklung in den 1970er-Jahren begann. Erfasst werden Bilddaten aller Medizingeräte, die für bildgebende Verfahren in der medizinischen Diagnostik eingesetzt werden (zum Beispiel Röntgen, Sonografie, CT, MRT oder Endoskopie). Die Daten werden an einen zentralen PACS-Server gesendet, dort gespeichert und an speziellen Arbeitsplatzrechnern zur Betrachtung und Nachverarbeitung zur Verfügung gestellt.

Genotyp

Das Erbbild eines Organismus. Es repräsentiert seine exakte genetische Ausstattung, also den individuellen Satz von Genen, den er im Zellkern in sich trägt und der sein morphologisches und physiologisches Erscheinungsbild bestimmt.

Quelle: <http://de.wikipedia.org/wiki/Genotyp>



Informations- und Kommunikationstechnologien (IKT)

Ausgangslage

IKT sind eine zentrale und zunehmend bedeutende Stütze der Schweizer Wirtschaft und sie werden in Zukunft eine noch wichtigere Rolle für die Wirtschaftskraft und den Wohlstand der Schweizer Bevölkerung spielen. Dank ihrer übergreifenden Funktion erhöhen sie die Innovationsfähigkeit und Produktivität in allen Branchen – Banken, Versicherungen, Energie, Verkehr, Gesundheit, Industrie inklusive öffentlicher Verwaltung. Die IKT-Branche ist der fünftgrösste Wirtschaftsbereich in der Schweiz mit einer Wertschöpfung von 28,2 Milliarden Schweizer Franken (im Jahr 2011) und trägt damit über fünf Prozent zur gesamten Schweizer Wirtschaftskraft bei⁴⁵. Hierin ist der indirekte Beitrag, den die IKT in anderen Branchen an Produktivität und Wertschöpfung leisten, wegen mangelnder statistischer Daten nicht berücksichtigt; er hat über die letzten Jahre aber sicherlich zugenommen und wird es weiter tun. Der Beschäftigungsindex im IKT-Berufsfeld ist in der Schweiz seit 2001 (Dotcom-Blase) überdurchschnittlich von 100 auf 117 gestiegen, während der Index aller Beschäftigten im selben Zeitraum nur einen Anstieg von 100 auf 111 verzeichnete.

In Zukunft werden die IKT alle unsere Lebensbereiche noch stärker durchdringen. Schon heute sind sie Wegbereiter für neue und disruptive Geschäftsmöglichkeiten, Produkte und Dienstleistungen, die die Effizienz und Wettbewerbsfähigkeit der Schweizer Wirtschaft stärken. Es ist für die Schweiz unerlässlich, hier in der Entwicklung und Anwendung an vorderster Front dabei zu sein, denn als transformative Kraft haben die IKT weiterhin das Potenzial, Wertschöpfung, Arbeitsstellen und neue Geschäftsfelder zu schaffen und die Gesellschaft anhaltend zu verändern.

Gegenwärtig treten wir in eine neue Phase der nahtlosen Integration und Interaktion zwischen Personen, Gegenständen, Diensten und Systemen im täglichen Leben und in industriellen Prozessen ein. Ermöglicht wird dies durch Technologietrends wie Cloud Computing und das IoT in Kombination mit Big Data und den Möglichkeiten umfassender Verarbeitung und Analyse grosser Datenmengen. Die konvergierenden Technologien von immer kleinerer, zunehmend energieeffizienterer und kostengünstigerer Hardware für mobile Geräte auf der einen Seite, die allgegenwärtige Konnektivität und offene Netze auf der anderen Seite, kombiniert mit Cloud Computing und der Echtzeitüberwachung und -auswertung von komplexen Systemen, eröffnen in allen Bereichen völlig neue Möglichkeiten. Bis 2020 werden 26 Milliarden Objekte Teil des

IoT sein⁴⁶. Dies ist eine beinahe 30-fache Zunahme innerhalb von zehn Jahren und ermöglicht einen geschätzten Umsatz von über 300 Milliarden US-Dollars weltweit, das meiste davon als Dienstleistung⁴⁷. CPS verschmelzen die virtuelle und die physische Welt und ermöglichen damit den Betrieb komplexer verteilter Systeme und vielfältige neue Anwendungen in allen Lebensbereichen⁴⁸. Die Cloud erlaubt die Speicherung und Auswertung der dabei erhobenen massiven Datenmengen; mathematische Analysemethoden wiederum sind nötig, um aus diesen Daten Information zu extrahieren und wertvolle Schlussfolgerungen zu ziehen. Weltweit haben verschiedene Initiativen wie Greentouch⁴⁹, die IBM/Google Academic Cloud Computing Initiative ACCI⁵⁰, EcoCloud⁵¹ und das FET Flagship Pilotprojekt Future ICT⁵² die Bedeutung von sehr grossen Datenmengen und ihrer intelligenten Auswertung für alle möglichen Bereiche des wirtschaftlichen und sozialen Lebens aufgezeigt. Eines der Hauptziele dabei ist das Verständnis und die Handhabung von komplexen, globalen und sozial interaktiven Systemen mit einem Fokus auf Werterhalt, Ausfallsicherheit, Robustheit und Resilienz. Andererseits ist das Sammeln von Daten in globalem Massstab auf hochgradig energieeffiziente oder auch energieautonome Systeme angewiesen, wie zum Beispiel im FET Flagship Pilotprojekt Guardian Angels vorgeschlagen⁵³. Vor kurzem hat der Big-Data-Bericht an den Präsidenten der Vereinigten Staaten von Amerika⁵⁴ deutlich herausgearbeitet, dass Big Data die Grundlage für zukünftiges wirtschaftliches Wachstum mit grossem gesellschaftlichem Nutzen sein dürfte.

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass die rasch vorschreitende Verschmelzung von virtueller und realer Welt (IoT, CPS) zusammen mit Big Data und den entsprechenden Möglichkeiten der Datenanalyse und des Cloud Computings die Durchdringung der IKT in allen Industriebranchen weiter vorantreiben und dabei eine Vielzahl von neuen Geschäftsmöglichkeiten schaffen wird. Die Leistungsfähigkeit und Stärke in Industrie, Innovation und Forschung versetzt die Schweiz in die privilegierte Lage, diese Möglichkeiten in vielen spezifischen Anwendungsbereichen ausschöpfen zu können.

Herausforderungen und Chancen

Die IKT gelten heute als wichtigste Treiber für disruptive Entwicklungen in vielen Bereichen, sie fördern Innovation, Effizienz, Resilienz und Qualität und ermöglichen dank der verbesserten Steuerung komplexer Systeme die Entwicklung neuer Produkte und Dienstleistungen. Für die in diesem Bericht prioritär behandelten Bereiche (Energie, Verkehr, Gesundheit und Industrie) trifft dies in besonderem Mass zu, weil die IKT dort das effiziente Management wertvoller Ressourcen erlauben.

Cloud Computing bietet den allgegenwärtigen und bedarfsgerechten Zugang zu einem Pool von geteilten und konfigurierbaren Rechenressourcen (zum Beispiel Netze, Server, Speicher, Apps und Dienstleistungen), die rasch und mit minimalem Verwaltungsaufwand bereitgestellt und freigegeben werden können. Die entsprechenden Attribute, das heisst die Bereitstellung einer flexiblen, überall und jederzeit nach Bedarf verfügbaren, automatisierten und kostengünstigen Dienstleistung, eröffnen riesige Geschäftsmöglichkeiten. Besonders eindrücklich belegen dies die sozialen Medien und Netzwerke sowie die «App Economy», aber auch das Wachstum im Bereich der Datenzentren und Dienstleistungsanbieter. Gerade auf letzterem Gebiet ist die Schweiz dank ihren im internationalen Vergleich ausgeprägten Standortvorteilen wie politische Stabilität, Rechtssicherheit, wirtschaftliche Prosperität und Unabhängigkeit für eine Führungsrolle prädestiniert. Insbesondere für innovative Startup-Unternehmen sind die daraus resultierenden Kosteneinsparungen, die hohe Geschwindigkeit, die neuen Dienstleistungen und Geschäftsmodelle (zum Beispiel «Pay-as-you-go») attraktiv. Cloud-Lösungen erlauben zudem die orts- und zeitunabhängige Nutzung von Rechenressourcen und damit flexible Arbeitsformen, die mit Energieeinsparung, niedrigeren Mobilitätskosten und einer ausgeglichenen Work-Life-Balance verbunden sind.

Die Möglichkeit, praktisch alle Gegenstände ans Internet der Dinge anzubinden, von sehr einfachen bis zu sehr komplexen Systemen, die Möglichkeiten der Fernsteuerung, der Überwachung und Sensorik erschliessen eine Vielzahl von neuen Anwendungen und Dienstleistungen. Die inhärente Konnektivität kann auf verschiedene Weise dazu genutzt werden, innovative Produkte und Dienstleistungen zu entwickeln und anzubieten und dadurch Wettbewerbsvorteile zu gewinnen. Die technische und physikalische Überwachung von Bauwerken und Infrastrukturen, Massnahmen zur Dämpfung der explodierenden Gesundheitskosten, die Umsetzung von intelligenten Netzen (Smart Grids), die Vernetzung von intelligenten Geräten zur Energieeinsparung, zur Prävention im Bereich der Gesundheitsversorgung und zur Pflege älterer Menschen, die verbesserte Sichtbarkeit von Inventurdaten, die Rückverfolgbarkeit von Waren, umweltfreundliche und sichere Transportsysteme (vernetzte Kraftfahrzeuge), der zeitnahe und effiziente Vertrieb von Lebensmitteln und landwirtschaftlichen Erzeugnissen, effizientere Wasserleitungssysteme und die Steigerung der Produktivität sind nur einige Beispiele für Anwendungsfelder mit grossem Potenzial. Das IoT wird die bereits heute immense Menge von in der Cloud gespeicherten Daten (Big Data) weiter anwachsen lassen. Diese Daten können genau durchsucht und ausgewertet werden und stellen für viele Unternehmen und private und öffentliche Institutionen eine wichtige neue Ressource für effiziente Prozesse, bessere unternehmerische Entscheidungen und neue Geschäftsmöglichkeiten dar.

Eine der grössten Herausforderungen, der sich die IKT-Branche heute stellen muss, ist der Schutz und die sichere Handhabung von personenbezogenen und proprietären Daten. In Bezug auf Cloud-Technologien gibt es verschiedene regulatorische Ansätze. Die Datenspeicherung erfolgt jedoch nicht immer nach transparenten Vorgaben und es ist möglich, dass Dritte gespeicherte Daten verwalten und sogar besitzen. Entsprechend wichtig ist es, dass neue Datenverschlüsselungsmethoden und technologische Lösungen sowie spezifische Standards, Gesetze und Massnahmen entwickelt werden, um die Vertraulichkeit, Sicherheit, Verfügbarkeit und Verlässlichkeit der Da-

ten zu gewährleisten und sie gegen böswillige Angriffe zu schützen. In dieser Hinsicht sollte die Schweiz ihre Kernkompetenz im Bereich von Sicherheit und Privatsphäre weiter ausbauen, indem sie die richtigen Regelungen und Vorschriften einführt und in die Erforschung und Entwicklung neuer Verschlüsselungstechnologien investiert. Eine wichtige Zukunftstechnologie in diesem Zusammenhang ist die Quantenkryptographie, in der die Schweiz bereits heute stark ist⁵⁵.

Der Erfolg des IoT erfordert zudem die Entwicklung neuer Hard- und Software, beispielsweise für auf energieeffizienten Bauelementen basierende Rechner- und Kommunikationssysteme mit energieeffizienten Betriebssystemen, Software und Übertragungsprotokollen, sowie für die Energiespeicherung und -gewinnung in autonomen Systemen, zum Beispiel in drahtlosen Sensornetzen. Dies bedingt die Erforschung neuer Materialien und Bauelemente der Mikro- und Nanoelektronik, Sensorik und Photonik, um die Energieeffizienz weiter in Richtung der physikalisch-technischen Grenzen zu treiben.

Prioritäten für die Schweizer Industrie und Forschung

Die Prioritäten im IKT-Bereich ergeben sich an der Schnittstelle mit anderen Schlüsselbereichen von Industrie, Wirtschaft, Forschung und Gesellschaft.

IKT im Energiebereich: Prioritär und gleichzeitig eine deutliche Chance für Industrie, Wirtschaft und Verwaltung sind die Energieeffizienz und der Einsatz neuartiger Technologien für das verbesserte Management von Stromnetzen, Verkehrsströmen, Städten (Smart City) und Agglomerationen. Energieeffizienz muss auf allen Ebenen implementiert werden, vom effizienten Management der Produktion, Speicherung und Verteilung bis hin zu Stromnetzen und Komponenten, wo zwingend neue elektronische und photonische Geräte eingesetzt werden müssen, wie auch im Kapitel «Energie und Verkehr» beschrieben. Besonders wichtig ist es, die zunehmende Durchdringung von Wirtschaft und Gesellschaft durch die IKT, einschliesslich das IoT, aktiv zu fördern

und den Übergang zu vernetzten und intelligenten Systemen voranzutreiben. Es sind diese Netze, die es ermöglichen werden, die Energieeffizienz von der Stromerzeugung bis hin zum Stromkonsum zu erhöhen, knappe Ressourcen zu schonen und dabei eine Vielzahl neuer Geschäftsmodelle zu schaffen.

IKT im Gesundheitsbereich: Wichtige Fortschritte (wie beispielsweise im Bereich von Genomik, *Proteomik* und Hirnbildgebung) führen zur Erzeugung grosser Datenmengen innerhalb kürzester Zeit. Die IKT werden die Grundlage der nächsten Revolution im Gesundheitswesen bilden. IoT- und CPS-Technologien ermöglichen ein allgegenwärtiges Erfassungssystem für die Echtzeitüberwachung und -reaktion, aber auch für die Langzeiterfassung von physiologischen und psychischen Faktoren und Umweltbedingungen für zukünftige Anwendungen im Gesundheitswesen, in der alternden Gesellschaft und für die Prävention von Krankheiten und Unfällen. Dies verbessert die Diagnostik, die Behandlung von Krankheiten und die Lebensqualität der Betroffenen. Von besonderer Relevanz sind die potenziellen Auswirkungen auf die Entwicklung neuer Formen der personalisierten Behandlung und Prävention. Die Entwicklung von benutzerfreundlichen, nicht-störenden und energieautarken Sensorsystemen (zum Beispiel EEG und EKG) wird die Überwachung und Feinabstimmung von Rehabilitationstherapien erlauben und es den Patienten ermöglichen, ihre Gesundheit durch den Dauereinsatz von tragbaren selbstständig funktionsfähigen medizinischen Geräten auf einfache Weise selber zu überwachen. Dies könnte zum Beispiel wesentlich dazu beitragen, Schlaganfälle – weltweit eines der verbreitetsten neurologischen Krankheitsbilder – zu verhindern oder erfolgreicher zu behandeln.

IKT in der Industrie: IKT-basierte Lösungen entlang der ganzen Prozesskette erlauben es, die verarbeitende Industrie effizienter, nachhaltiger und robuster zu gestalten, sie ermöglichen ein genau auf die Kundenbedürfnisse zugeschnittenes und diversifiziertes Produkte-Portfolio und auch die flexible Reaktion auf Marktveränderungen. Eine sensorgesteuerte Prozessregelung und -überwachung, eine opto-elektronische automatisierte Präzisionsmesstechnik sowie Algorithmen für (Big-) Datenanalysen und

Prozesskontrollen gehören zu den zukunftsweisenden Merkmalen der modernen Fertigungstechnik. Die volle Digitalisierung der Produktionsprozesse wird auch Dienstleistern neue Geschäftsmöglichkeiten eröffnen. Geeignete Geschäftsmodelle müssen Datensicherheit und Dateneigentum für Kunden in der Industrie gewährleisten.

In allen oben erwähnten Technologien spielen neue energieeffiziente IKT-Komponenten eine Schlüsselrolle. Neue funktionelle Materialien, Mikro- und Nanotechnologie für Bauelemente mit extrem geringem Energieverbrauch, flexible und tragbare Elektronik, photonische Komponenten, Sensoren, autonome Systeme unterschiedlicher Grössenordnungen, inklusive Robotik, Energiespeicherung, Energiekonversion und -gewinnung sind die Triebfedern dieser Entwicklung und besitzen ein Innovationspotenzial, das die Schweiz hervorragend umsetzen kann.

Erwartete Auswirkung

Die IKT, die praktisch vollständig auf einer Plattform von vernetzten elektronischen Systemen, Geräten und Diensten beruhen, werden als Schwellentechnologie bezeichnet. Das bedeutet, dass sie das Potenzial haben, die Gesellschaft entweder in eine wirklich nachhaltige Zukunft zu führen oder im Gegenteil in eine Welt der unaufhörlich zunehmenden sozio-ökonomischen Ungleichheit und Umweltzerstörung. Moderne Gesellschaften in hochindustrialisierten Nationen wie der Schweiz sind zunehmend darauf angewiesen, dass Kosten und Energieverbrauch im IKT-Bereich pro Funktion stetig abnehmen.

Das Internet, die mobile Kommunikation und die Durchdringung aller Bereiche mit IKT-basierten Geräten, Anwendungen, Medien und Netzwerken haben unsere Gesellschaft tiefgreifend verändert. Information ist heute praktisch überall und jederzeit sofort verfügbar. Wir können von jedem beliebigen Ort aus in Echtzeit mit anderen Menschen, Systemen und Diensten interagieren und Geschäfte abwickeln – dank mobilen Geräten sind wir jederzeit online. Die IKT wird eine wesentliche Rolle dabei spielen, Innovation, Wohlstand sowie die Wettbewerbsfähigkeit aller Industrie- und Dienstleistungssek-

toren zu stärken. Strategisch besonders wichtig wird für die Schweizer Wirtschaft die Interaktion der IKT mit den Bereichen Energie, Gesundheit und Fertigung sein (siehe auch vorangegangene Kapitel).

Verstärkte Anstrengungen in der IKT-Forschung und Entwicklung werden innovative Lösungen für das IoT und für CPS hervorbringen und damit die führende Rolle der Schweiz auf diesem Gebiet weiter festigen. Völlig neue Anwendungen und damit die Erschliessung neuer Absatzmärkte sind insbesondere im Bereich von Sicherheit, Gesundheitsförderung, Wohlbefinden, betreutem Leben in einer alternden Gesellschaft und Energieeffizienz zu erwarten.

Grosse Geschäftschancen eröffnen sich für Startups und Dienstleister im Bereich von Datensicherheit, Dateneigentum und Datenschutz bei Kundenanwendungen, besonders aber im Zusammenhang mit den durch IoT und CPS erzeugten Herausforderungen für Industriekunden in der Schweiz und weltweit. Die Entwicklung und Anwendung dieser Technologien kann die Position der Schweiz als globaler Akteur im IKT-Bereich wesentlich stärken.

Massnahmen

Für den Bereich IKT lassen sich folgende spezifischen Empfehlungen formulieren:

Grundlagenorientierte Spitzenforschung in den IKT mit grosser Hebelwirkung fördern.

Wir schlagen folgende Forschungsschwerpunkte vor:

- Energieeffiziente Technologien für das IoT, CPS und Mobile Computing; Bauelemente mit extrem geringem Energieverbrauch für Sensorik, Optoelektronik, Computing und Kommunikation, einschliesslich der jeweiligen Fertigungstechnologien; energieeffiziente Software (mitsamt Betriebssystemen) sowie Konzepte, Protokolle und Standards für die energiebewusste, drahtlose Datenübertragung über mittlere und lange Übertragungstrecken
- Dezentralisierte und effiziente Energiespeicherung und -gewinnung für autonome und wartungsarme Systeme

Innovationen durch Forschung und Entwicklung in ausgewählten Anwendungsfeldern fördern, um die Technologieführerschaft der Schweizer Industrie zu sichern und neue Geschäftsfelder zu erschliessen.

- Entwicklung von neuen Anwendungen in den Bereichen Energie, Gesundheit und Fertigung, die durch den Einsatz von energieeffizienten Technologien ermöglicht werden. Besonderes Gewicht sollte dabei auf autonome und intelligente Sensorsysteme (IoT, CPS) für effiziente und robuste Prozesse, auf Aspekte der strukturellen Integrität und der persönlichen Gesundheitsförderung unter Berücksichtigung relevanter Umwelteinflüsse sowie auf Sicherheit und flexible und nachhaltige Produktionsprozesse (in Richtung Industrie 4.0) gelegt werden.
- Die zunehmende Verknüpfung von Systemen und Geräten in den oben genannten Bereichen wird neue Dienstleistungen und Dateninfrastrukturen für Datenspeicherung, -zugriff und -verteilung erforderlich

Technology Readiness Level (TRL)

Der TRL oder Technologiereifegrad gibt auf einer Skala von 1 bis 9 an, wie weit entwickelt eine Technologie ist. Dabei entspricht ein TRL 1 der Stufe der Grundlagenforschung mit einem Zeithorizont von 8 bis 15 Jahren bis zur Marktreife. Bei TRL 6 und 7 stehen erste Prototypen im Einsatz (1 bis 5 Jahre bis zur Marktreife); ein qualifiziertes System mit Nachweis des erfolgreichen Einsatzes entspricht TRL 9.

Quelle: http://de.wikipedia.org/wiki/Technology_Readiness_Level

machen. Herausforderungen sowie Geschäftsmöglichkeiten werden sich im Bereich von Datenschutz, Datensicherheit und Eigentumsrechten an den Daten ergeben. Im Kontext von IoT und CPS sind Lösungen zuerst auf Unternehmensebene notwendig; neue Konzepte und Standards werden jedoch ihre Übertragung auch auf den Consumerbereich erlauben und damit die Nachfrage nach erschwinglicher Datensicherheit und Datenschutz für jedermann decken. Die Stärke und Kompetenz der Marke Schweiz ist ein Wettbewerbsvorteil, den es zu pflegen und zu nutzen gilt.

Unterstützende Massnahmen durch Institutionen und die Politik.

Entwicklung und/oder Stärkung von Bildungsmassnahmen im Bereich Technologie und komplexe Systeme, die die multidisziplinären Herausforderungen thematisieren, die erforderlichen Fähigkeiten und Talente fördern und den Bedarf an Fachkräften und Ingenieuren in den IKT decken.

- Verlässliche gesetzliche Rahmenbedingungen und Regelungen für Dienstleistungen und Nutzer/Kunden im Bereich Big Data (und Analyse) definieren, koordinieren und durchsetzen, insbesondere in Bezug auf den Schutz der Eigentumsrechte an den Daten, auf Datenschutz und Datensicherheit

- Unterstützung von spezifischen Standardisierungs-massnahmen und Protokollen, die für eine bessere Interoperabilität von cyber-physischen Systemen und IoT-Komponenten erforderlich sind
- Unterstützung von Ausbildung, Grundlagenforschung, Technologietransfer und Innovation in den oben genannten Bereichen mit Hilfe von substantiellen und effizienten Förderinstrumenten. Gefördert werden sollen insbesondere die interdisziplinäre Zusammenarbeit und die Zusammenarbeit von akademischen Forschungspartnern mit der Industrie, unter Einbeziehung von Themen der Fertigung, angefangen bei der ingenieurwissenschaftlichen Grundlagenforschung bis hin zum **Technologiereifegrad 6 (TRL6)**.

Proteomik

Fachgebiet, welches sich mit der Erforschung der Gesamtheit aller in einer Zelle oder einem komplexen Organismus vorliegenden Proteine beschäftigt. Die Gesamtheit dieser Proteine nennt man Proteom. Dieses Proteom ist im Gegensatz zum eher starren Genom hochdynamisch und unterliegt ständigen Veränderungen in Bezug auf Konzentration, Zusammensetzung und Funktion.

Quelle: <http://de.wikipedia.org/wiki/Proteomik>

Empfehlungen





Empfehlungen

Die angewandte (Industrie-orientierte) Forschung muss stärker gefördert werden.

Die angewandte Forschung, das heisst die Forschung zwischen langfristiger Grundlagenforschung und kurzfristiger Produktentwicklung, kommt in der Schweiz zu kurz. Obwohl diese Lücke bereits erkannt worden ist, sind die bestehenden Anstrengungen weiter zu verstärken. Dies kann durch Änderung der Ausrichtung der Kommission für Technologie und Innovation (KTI) geschehen oder durch neue, zusätzliche Fördermodelle mit Public-Private-Partnership-Charakter.

Die vom Eidgenössischen Departement für Wirtschaft, Bildung und Forschung WBF geplante Reorganisation der KTI bietet dazu eine grosse Chance. Die Erweiterung des Förderbereichs soll die Zusammenarbeit zwischen akademischer Forschung und Industrie im praxisorientierten Vorfeld der Technologie- und Produktentwicklung verbessern.

Um einen hohen Praxisbezug zu garantieren, soll die Fachjury zur Verteilung der Fördergelder paritätisch aus Experten der Hochschulen und der Industrie, insbesondere auch von KMU, zusammengesetzt sein. Um diese Forschung im vorwettbewerblichen Umfeld zu stimulieren, sollte insbesondere der Zugang zu Fördergeldern für die Industrie, vor allem KMU, verbessert werden.

Zwei Forschungsrichtungen gilt es zu stärken.

Schweizer Forschungseinrichtungen und Industrie müssen gemeinsam die Material- und Prozessentwicklung für neue Herstellungsverfahren vorantreiben. Dazu ist eine nationale **Manufacturing-Initiative** notwendig.

Als eine der Kernkompetenzen zur Erhaltung der industriellen Wettbewerbsfähigkeit in Hochlohnländern gilt die Beherrschung der Fertigungstechnologien. Herausforderungen und zugleich auch Chancen bestehen bei additiven Herstellungsverfahren, Automation und Integration von neuen Materialien. Dazu gehören auch neue Technologien für Produktdesign und Prozesskontrolle. Wie Beispiele aus dem umliegenden Ausland zeigen, bedingt die Beherrschung dieser neuen Verfahren eine intensive Zusammenarbeit zwischen akademischer Forschung und Industrie. Kooperationsprojekte, Technologiezentren mit Pilotanlagen für die vorwettbewerbliche Entwicklung und Anwendung innovativer Fertigungstechnologien sowie die Bereitstellung von Mitteln für die entsprechende Schulung sind im Rahmen eines Konsortiums zu realisieren.

Forschung und Innovation in den Bereichen energieeffizienter Technologien und autonomer intelligenter Systeme müssen auf nationaler Ebene priorisiert werden.

Energieeffiziente Technologien und autonome, intelligente Systeme sind Grundlagen für cyber-physische Systeme und das Internet der Dinge. Forschung und Innovation in diesen Bereichen müssen alle Basisfunktionalitäten wie Sensorik, Rechenleistung, Kommunikation und Energieversorgung umfassen.

Der Ausbau von Cybersecurity und Datenschutz erfordert einen ganzheitlichen Ansatz.

Im Energie- und Verkehrsbereich sollten vermehrt koordinierende Einheiten wirken und geeignete regulatorische Massnahmen und Standards geschaffen werden, um mit den steigenden Cyber-Risiken angemessen umgehen zu können.

Die Durchdringung des Alltags mit Informations- und Kommunikationstechnologie wird weiter zunehmen und vermehrt auch die Kontrolle empfindlicher, für die Gesellschaft lebensnotwendiger Systeme betreffen. Behörden, beziehungsweise mit spezifischen Aufgaben beauftragte Trägerorganisationen, müssen der Sicherheit im Netz höchste Priorität geben, um mit den damit verbundenen Risiken (zum Beispiel für national relevante kritische Infrastrukturen) umzugehen.

Die Entwicklung im Bereich der Informations- und Kommunikationstechnologien macht neue Regelungen und eine verstärkte Förderung der Forschung notwendig, um die Eigentumsrechte an den Daten, den Datenschutz und die Datensicherheit zu gewährleisten und neue Geschäftsfelder zu öffnen.

Neue kritische Bereiche wie das Internet der Dinge und cyber-physische Systeme erfordern eine Neugestaltung der gesetzlichen Rahmenbedingungen. Dies betrifft insbesondere die aus dieser Entwicklung resultierenden deutlich erweiterten Möglichkeiten der Informationsgewinnung und Datenanalyse (Big Data und Big-Data-Analytik) mit ihren weitreichenden Auswirkungen auf Datensicherheit und Privatsphäre.

Insbesondere medizinische Daten müssen durch die Entwicklung von technischen und algorithmischen Lösungen geschützt werden.

Das Recht der Patienten, über ihre Daten zu verfügen, ist zu garantieren. Dazu braucht es nicht nur technische Lösungen, sondern auch eine Standardisierung und gesetzliche Regulierungen, die in Abstimmung mit dem internationalen Umfeld erfolgen sollten.

Der Ausbau von adäquaten Rahmenbedingungen für die Wirtschaft ist bewusst voranzutreiben.

Eine dynamische Entwicklung der Wirtschaft setzt adäquate Rahmenbedingungen voraus.

Es müssen günstige Bedingungen für Investoren, Risikokapitalgeber und Jungunternehmer in der Frühphasenfinanzierung von Hightech-Unternehmen geschaffen werden.

Im Vordergrund sollten dabei Steuerentlastungen für Frühphasenfinanzierung und entschärfte Haftungsregeln für den Fall des Scheiterns stehen.

Regulierungsbehörden sollen sich als Partner sehen und gemeinsam mit den Stakeholdern minimale, vernünftige und effiziente regulatorische Prozesse erarbeiten und durchsetzen.

Diversität und Bedürfnisse der Arbeitskräfte verschiedenen Geschlechts und in verschiedenen Lebensphasen sollten stärker berücksichtigt werden.

Dazu sind dynamische, nicht diskriminierende Arbeitsmodelle notwendig sowie die Entwicklung von Förderkonzepten für berufliche Weiterbildung und Umschulung.

Nebst einem hohen Qualifikations- und Bildungsniveau benötigen Nachwuchskräfte für die Industrie vermehrt auch kooperative Fähigkeiten.

Die Stärke des Schweizer Standorts liegt in einer erfolgreichen Kombination verschiedenster Fähigkeiten. Um diese zu erhalten oder auszubauen, ist nicht nur eine hervorragende Ausbildung in den Grundlagenfächern erforderlich, sondern zugleich auch die Vermittlung von menschlichen Grundwerten wie Respekt und Kooperationsbereitschaft.

Referenzen

- ¹ **Forbes:** Wichtigste fachkundige Quelle für verlässliche politische, Finanz- und Weltwirtschaftsinformationen mit speziellem Augenmerk auf die Analyse von neuen technologischen Entwicklungen, denen das US-Magazin zutraut, innerhalb der nächsten fünf Jahre zu «explodieren» (www.forbes.com/sites/roberthof/2013/05/23/live-the-top-10-future-tech-trends-from-5-top-venture-capitalists/).
- ² **IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers):** Der weltweit wichtigste und grösste technische Berufsverband von Ingenieuren untersucht und fördert technologische Innovation und Exzellenz zum Nutzen der Menschheit und entwickelt weltweit eingesetzte Technologiestandards (www.ieee.org/about/technologies/index.html).
- ³ **McKinsey:** Berät als globale Unternehmens- und Strategieberatungsfirma weltweit führende Firmen, Regierungen und Institutionen. Ihre Methodologie umfasst die Analyse von mikro-ökonomischen Industrietrends zum besseren Verständnis der einschlägigen makro-ökonomischen Kräfte, die Geschäftsstrategien und Politik beeinflussen. Die im Mai 2013 erschienene Studie «Disruptive technologies: advances that will transform life, business, and the global economy» sowie der Bericht «Ten IT-enabled business trends for the decade ahead» waren für den vorliegenden Report von grosser Bedeutung, da sie die individuelle und die Regierungsebene umfassen (www.mckinsey.com/).
- ⁴ **Horizon:** Die neue europäische Forschungs- und Entwicklungsstrategie (F&E) ist auf Wachstum und Innovation in einem globalen Kontext ausgerichtet und beinhaltet: (i) eine stärkere Fokussierung und mehr Kooperation, (ii) genau definierte KETs, (iii) eine neue Innovationsstrategie, (iv) besonderes Gewicht auf Förderung der Innovation im IKT-Bereich und (v) Strategien für intelligente Spezialisierung. Ein Ziel der EU-Kommission ist es, ihr Forschungsbudget mit staatlichen Aufgaben und Investitionen privater Firmen zu koppeln und damit im Rahmen von Horizon 2020 möglichst viele Kräfte für die Innovationsförderung zu bündeln (http://ec.europa.eu/enterprise/sectors/ict/key_technologies/).
- ⁵ **Roadmaps des Fraunhofer Instituts und vergleichbarer Institutionen:** Solche Roadmaps fassen die wichtigsten Trends in Europa zusammen und geben die Ausrichtung der europäischen Forschung in Bezug auf fortschrittliche Technologien wieder. Gemeinsam unterhalten diese Partner spezifische europäische Organisationen oder Plattformen, die in Koordination mit der europäischen Kommission ihre eigenen Roadmaps ausarbeiten. Schweizer Institutionen unterhalten eine strategische Zusammenarbeit mit diesen Partnern und tragen zu deren europäischen Roadmaps bei.
- ⁶ Daten – Aussenhandel, Ausfuhr wichtiger Waren 1990 – 2012. Neuchâtel: Bundesamt für Statistik; 2014. <http://www.bfs.admin.ch/bfs/portal/de/index/themen/06/05/blank/data.html>.
- ⁷ Swiss MedTech Report 2012. Bern: MedTech Switzerland; 2012.
- ⁸ www.ta-swiss.ch
- ⁹ A. Schulze, P. Schmitt, K. Neumüller. Automotive Industry Switzerland, Industry Analysis 2008. Zurich: ETH Zurich, Swiss CAR; 2008.
- ¹⁰ L. Atzori, A. Iera, G. Morabito. The Internet of Things: A Survey. Computer Networks 2010; 54: 2787-2805.
- ¹¹ European Technology Platform Photonics21. Towards 2020 – Photonics Driving Economic Growth in Europe. <http://www.photonics21.org/>.
- ¹² Mittel-Infrarot-Spektroskopie (MIRS) oder Raman-Spektroskopie.
- ¹³ S.T. Anwar. Selling Time: Swatch Group and the Global Watch Industry. Thunderbird International Business Review 2012; 54: 747-762.
- ¹⁴ K.A. Cook-Chennault. Powering MEMS Portable Devices – a Review of Non-Regenerative and Regenerative Power-Supply Systems with Special Emphasis on Piezoelectric Energy Harvesting Systems. Smart Materials and Structures 2008; 17: 1-34.
- ¹⁵ K.H. Bae, H.J. Chung, T.G. Park. Nanomaterials for Cancer Therapy and Imaging. Molecular Cells 2011; 31: 295-302.
- ¹⁶ G.C. Gurtner, M.J. Callaghan. Progress and Potential for Regenerative Medicine. The Annual Review of Medicine 2007; 58: 29-312.
- ¹⁷ G.I. Barbash, S.A. Glied. New Technology and Health Care Costs – The Case of Robot-Assisted Surgery. New England Journal of Medicine 2010; 363: 701-704.
- ¹⁸ Infrarotspektroskopie, Massenspektrometrie, Mikro-NMR, Raman- oder SERS-Spektroskopie und «elektronische Nasen» (R.A. Shaw. Toward Point-of-Care Diagnostic Metabolic Fingerprinting: Quantification of Plasma Creatinine by Infrared Spectroscopy of Microfluidic-Preprocessed Samples. Analyst 2009; 134: 1224-1231).
- ¹⁹ Siehe auch IEA World Energy Outlook 2013. <http://www.worldenergyoutlook.org/publications/weo-2013/>.
- ²⁰ http://www.up.ethz.ch/research/group_imboden/constructed_switzerland/index_DE.
- ²¹ P. de Haan, R. Zah. Chancen und Risiken der Elektromobilität in der Schweiz. Zürich: TA-SWISS; 2012. <https://www.ta-swiss.ch/elektromobilitaet/>.
- ²² T. Friedlin, G. Schuh. Wettbewerbsfähigkeit der Produktion an Hochlohnstandorten. Berlin: Springer Vieweg; 2012.
- ²³ U. Sandler. Industrie 4.0 – Beherrschung der Industriellen Komplexität mit SysLM (Systems Lifecycle Management). In: U. Sandler, Herausgeber. Industrie 4.0. Berlin: Springer-Verlag; 2013.
- ²⁴ A. Dujin, C. Geissler, D. Horstkötter. Industry 4.0: The New Industrial Revolution – How Europe will Succeed. Think Act. München: Roland Berger Strategy Consultants; 2014.

- ²⁵ D. Spath, O. Ganschar, S. Gerlach, M. Hämmerle, T. Krause, S. Schlund. Produktionsarbeit der Zukunft – Industrie 4.0. Stuttgart: Fraunhofer-Institut für Arbeitswirtschaft und Organisation IAO; 2013.
- ²⁶ A. Dujin, C. Geissler, D. Horstkötter. Industry: 4.0 The New Industrial Revolution – How Europe will Succeed. Think Act. München: Roland Berger Strategy Consultants; 2014.
- ²⁷ ISO/ASTM 52921:2013. Standard Terminology for Additive Manufacturing – Coordinate Systems and Test Methodologies. <http://www.astm.org/Standards/F2921>.
- ²⁸ N. Hopkinson, R.J. Hague, P.M. Dickens. Rapid Manufacturing: An Industrial Revolution for the Digital Age Unlocking the Design Potential of Rapid Manufacturing. Hoboken: John Wiley & Sons; 2006.
- ²⁹ D.D. Gu, W. Meiners, K. Wissenbach, R. Poprawe. Laser Additive Manufacturing of Metallic Components: Materials, Processes and Mechanisms. International Materials Reviews 2012; 57: 133-164.
- ³⁰ T. Wohlers. T. Wohlers Report 2013 - Additive Manufacturing and 3D Printing State of the Industry - Annual Worldwide Progress Report. Fort Collins: Wohlers Associates; 2013.
- ³¹ F.P.W. Melchels, M.A.N. Domingos, T.J. Klein, J. Malda, P.J. Bartolo, D.W. Huttmacher. Additive Manufacturing of Tissues and Organs. Progress in Polymer Science 2012; 37: 1079-1104.
- ³² S. Hesse, V. Malisa. Taschenbuch Robotik - Montage – Handhabung. Berlin: Carl Hanser Verlag; 2010.
- ³³ T. Boaventura, C. Semini, J. Buchli, M. Frigerio, M. Focchi, D.G. Caldwell. Dynamic Torque Control of a Hydraulic Quadruped Robot. St. Paul: IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA); 2012.
- ³⁴ S. Fusco, M.S. Sakar, S. Kennedy, C. Peters, R. Bottani, F. Starsich, A. Mao, G.A. Sotiriou, S. Pané, S.E. Pratsinis, D. Mooney, B.J. Nelson. An Integrated Microrobotic Platform for On-Demand, Targeted Therapeutic Interventions. Advanced Materials 2014; 26: 952-957.
- ³⁵ H. Becker, M. Scheermesser, M. Früh, Y. Treusch, H. Auerbach, R.A. Hüppi, F. Meier. Robotik und autonome Geräte in Betreuung und Gesundheitsversorgung. Zürich: TA-SWISS; 2012. <https://www.ta-swiss.ch/robotik/>.
- ³⁶ M. Stücheli, M. Meboldt. Mechatronic Machine Elements: On Their Relevance in Cyber-Physical Systems. Smart Product Engineering LNPE. Berlin: Springer; 2013: 263–272.
- ³⁷ M. Möller, A. Hermann, R. Gross, M-O. Diesner, P. Küppers, W. Luther, N. Malanowski, D. Haus, A. Zweck. Nanomaterialien: Auswirkungen auf Umwelt und Gesundheit. Zürich: TA-SWISS; 2013. <https://www.ta-swiss.ch/projekte/nanotechnologie/nano-und-umwelt/>.
- ³⁸ K. Schmid, B. Danuser, M. Riediker. Swiss Nano-Inventary - An Assessment of the Usage of Nanoparticles in Swiss Industry; Final Report, 2008. Lausanne: Institut Universitaire Romand de Santé au Travail (IST); 2008.
- ³⁹ M.V. Gandhi, B.S. Thompson. Smart Materials and Structures. London: Chapman & Hall; 1992.
- ⁴⁰ J. Liu, C. Xie, X. Dai, L. Jin, W. Zhou, C.M. Lieber. Multifunctional Three-Dimensional Macroporous Nanoelectronic Networks for Smart Materials. Proceedings of the National Academy of Sciences 2013; 110: 6694-6699.
- ⁴¹ R. Frank. Understanding Smart Sensors, 3. Auflage. Boston: Artech House; 2013.
- ⁴² B. Basu, S. Nath. Fundamentals of Biomaterials and Biocompatibility. In: B. Basu, D. Katti, A. Kumar, Herausgeber. Advanced Biomaterials – Fundamentals, Processing, and Applications. Hoboken: John Wiley & Sons; 2010.
- ⁴³ www.patientslikeme.com.
- ⁴⁴ A. Eckhardt, A.N. Navarini, A. Recher, K.P. Rippe, B. Rüttsche, H. Telser, M. Marti. Personalisierte Medizin. Zürich: TA-SWISS; 2014. <https://www.ta-swiss.ch/projekte/biotechnologie-und-medizin/personalisierte-medizin/>.
- ⁴⁵ http://ictswitzerland.ch/media/dateien/Themen/ICTswitz_wirtschaft_Bedeutung_ICT_2013_10_21.pdf.
- ⁴⁶ PCs, Tablet PCs und Smartphones ausgenommen.
- ⁴⁷ www.gartner.com/newsroom/id/2636073.
- ⁴⁸ Cyber-Physical Systems. ERCIM News 2014; 97. www.ercim.eu.
- ⁴⁹ www.greentouch.org.
- ⁵⁰ www.cloudbook.net/directories/research-clouds/ibm-google-academic-cloud-computing-initiative.
- ⁵¹ [Ecocloud.ch](http://www.ecocloud.ch).
- ⁵² www.futurict.eu.
- ⁵³ <http://www.ga-project.eu/>.
- ⁵⁴ www.whitehouse.gov/sites/default/files/docs/big_data_privacy_report_may_1_2014.pdf.
- ⁵⁵ N. Gisin, G. Ribordy, W. Tittel, H. Zbinden. Quantum Cryptography. Reviews of Modern Physics 2002; 74: 145-195. <http://swissquantum.idquantique.com/?SwissQuantum-Project-Completes>.

Impressum

SATW Geschäftsstelle
Gerbergasse 5, 8001 Zürich
Tel. +41 44 226 50 11
info@satw.ch
www.satw.ch

Projektleitung

Adrian Ionescu

Support Projektleitung

Karin Jaymes, Claudia Schärer

Steuerungsausschuss

Dimos Poulidakos, Ulrich W. Suter

Projektteam

Konstantinos Boulouchos, Bernhard Braunecker, Markus Fischer, Christoph Harder, Rolf Hügli, Peter Seitz

Themengruppe Energie / Verkehr

Wolfgang Kröger (Leitung), Konstantinos Boulouchos, Daniel Favrat, Matthias Finger, Tony Kaiser, Thomas Schmidt, Andreas Ulbig

Themengruppe Produktionstechnik und Fertigungsverfahren

Ulrich Claessen (Leitung), Bernhard Braunecker, Christian Enz, Mirko Meboldt, Marc Pauchard, Linda Thöny-Meier

Themengruppe Gesundheit

Gabor Szekely (Leitung), Andy Fischer, Oreste Ghisalba, Olaf Kübler

Themengruppe Informations- und Kommunikationstechnologien

Heike Riel (Leitung), Giovanni de Micheli, Mario EL-Khoury, Markus Fischer, Christofer Hierold, Adrian Ionescu, Felix Mayer, Martin Näf

Redaktionsteam

Christine D'Anna-Huber, Christofer Hierold, Beatrice Huber, Rolf Hügli, Adrian Ionescu, Christoph Klahn, Wolfgang Kröger, Mirko Meboldt, Dimos Poulidakos, Heike Riel, Claudia Schärer, Peter Seitz, Ulrich W. Suter

Ausländische Experten

Hiroshi Iwai, Dan Mote Jr.

Externe Gutachter

Hans Altherr, Spiridon Arvanitis, Gian-Luca Bona, Roman Boutellier, Fulvio Caccia, Xaver Edelmann, Felix Gutzwiller, Carsten Kurth, Claudio Meisser, Hannes Näf, Robert Rudolph, Arthur Ruf, Konrad Wegener

Interne Gutachter

Hans Hänni, Urs von Stockar, Andreas Zuberbühler

Übersetzung und Korrektorat

Ars Linguae

Grafik

Andy Braun

Druck

Lenggenhager Druck

Bilder

Fotolia

© 2015

SATW

Schweizerische Akademie der Technischen Wissenschaften
Académie suisse des sciences techniques
Accademia svizzera delle scienze tecniche
Swiss Academy of Engineering Sciences



Mitglied der
Akademien der Wissenschaften Schweiz